

Lider en Ciencia y Tecnología

**“Estudio técnico de migración de la red
de acceso de la tecnología WIMAX a LTE
en la empresa Yota de Nicaragua”**

*MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA E INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES*

Elaborado por:

Br. Johnny Antonio Balmaceda Fonseca
Ingeniería Electrónica

2007- 21397

Br. Kelvin Rene Arana Orozco 2010 - 34933
Ingeniería en Telecomunicaciones

Tutor:

PhD. Marvin Arias Olivas

Julio 2015

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Dedicatoria

A Dios porque de él es la gloria, por todas las bendiciones y sabiduría para superar todas las adversidades, a la virgen María por cuidarme siempre, a mi madre María Fonseca, a mi hija Nicole Balmaceda, mi esposa Jessenia Blandón, mi papá Noel Zelaya y mis hermanos Jhordania y Jhordan.

Johnny Balmaceda

Este trabajo es dedicado a mi abuela, que le prometí en su lecho de muerte la finalización de este paso. En misma forma, a mi madre por ser la fuerza intrínseca que me motiva cada día a realizar mis sueños.

Kelvin Arana

Agradecimientos

Muy especialmente y enteramente agradecido con el Ingeniero Dmitri Erankevich Jefe Departamento técnico de Yota, Ingeniero Porfirio Escorcia especialista RF de Yota, mi jefe Ingeniero Roberto Toruño, mi estimado profesor Ingeniero Jairo Fúnez, eternamente agradecido con el excelentísimo PhD Marvin Arias por apoyarme a cumplir algo que en un momento parecía ser un sueño, a los profesionales que me apoyaron en mi vida universitaria, mis compañeros de clase, familiares y todas las personas que contribuyeron en mi formación.

Johnny Balmaceda

Agradezco a todas aquellas manos amigas que me brindaron su confianza y apoyo durante todo este proceso. De manera especial al PhD. Marvin Arias por su disposición y afán de crear mejores profesionales, al MSc. Oscar Napoleón por sus valiosos consejos y buena disposición con respecto a nuestro trabajo. Sin dejar atrás a todos aquellos profesores que contestaron mis preguntas y pares académicos que compartimos tiempo juntos.

Kelvin Arana

Abstract

The increase in data traffic and the widespread deployment of multi-service wireless networks is leading the path on mobile telecommunications. The need for efficient use of spectrum and power, and faster connections has encouraged research and development groups around the world, to design new standards that fulfill the demanding requirements, which are being target on data traffic rather than voice.

Now a days in Nicaragua there is no commercial deployment of LTE, however the local market starts to demand better connections to their existing networks. As a result of the current needs, our monograph planned to conduct a technical study of migration of the access network from WiMAX to LTE technology for the company Yota of Nicaragua, considering the city of Masaya as a pilot project of such migration. For the analysis of migration, the planning software Atoll™ was used and for data collection (field measurements), we assisted ourselves by the "test drive" technique ,that allow us to verify the predictive values of design and identify areas of coverage for each sector of the network on the real deployment scenario.

For the migration analysis of the access network, we conducted a first simulation scenario of a WiMAX network using parameters of the actual network of Yota of Nicaragua, through the planning software Atoll™. In order to be compared with the results of a drive test on the real deploy network. In a second simulation scenario we designed a LTE network to demonstrate the advantages of the 3GPP standard, besides a comparative analysis between duplexing scheme, TDD and FDD on LTE Release 8.

The LTE results demonstrated significant enhancement specifically a 100% improvement on throughput compared with WiMAX deployment. Likewise, FDD scheme achieve better values than his counterpart TDD, on a possible LTE deployment in the city of Masaya, Nicaragua. In conclusion, taking into account the technical characteristics in common of both technologies, migration is a feasible and efficient proposal for the company Yota of Nicaragua due to the possible reuse of existing physical infrastructure and the need to comply the increasing demands of current users.

Resumen

El incremento de tráfico de datos y de redes multi-servicios inalámbricas están marcando el rumbo de las comunicaciones móviles. La necesidad de conexiones más rápidas, eficientes en el uso de espectro y de potencia, ha impulsado a los grupos de investigación y desarrollo alrededor del mundo, a diseñar nuevos estándares que cumplan los requerimientos demandantes, que están siendo destinados en mayor parte a la transmisión de datos.

En Nicaragua actualmente no existe ningún despliegue de la tecnología LTE, no obstante el mercado local comienza a demandar mejores conexiones. En función de las necesidades actuales nuestro trabajo monográfico tuvo como propósito realizar un estudio técnico de migración de la red de acceso de la tecnología WiMAX a LTE de la empresa Yota de Nicaragua, considerando la ciudad de Masaya como proyecto piloto de dicha migración. Para el análisis de la migración usamos el software de planificación Atoll™ y para la recopilación de datos (mediciones de campo), nos auxiliamos de la técnica de “drive test” que permite verificar los valores predictivos del diseño e identificar las áreas de cobertura de cada sector de la red en condiciones reales.

Para el análisis de la migración de la red de acceso, realizamos un primer escenario de simulación con la herramienta Atoll™ de una red WiMAX utilizando parámetros de la red desplegada de Yota de Nicaragua, para luego ser comparados por medio de un drive test. En un segundo escenario diseñamos una red LTE para demostrar las ventajas del estándar del 3GPP, además efectuamos un análisis comparativo entre los esquemas de duplexación TDD y FDD en el Release 8 de LTE.

Con los resultados demostramos una mejoría del 100% del estándar LTE en comparación de WiMAX, específicamente en términos de throughput. De la misma forma, el esquema FDD logro alcanzar mejores valores que su homólogo TDD en un posible despliegue en la ciudad de Masaya, Nicaragua. En conclusión, teniendo en consideración las características técnicas en común de ambas tecnologías, la migración es una idea factible y eficiente para la empresa Yota de Nicaragua, debido al posible reúso de la infraestructura y la necesidad de cumplir con las crecientes demandas de los usuarios actuales.

Lista de Figuras

Figura 1: Evolución de Generaciones Celulares (Tomado de [4])	1
Figura 2: Tráfico de Datos Móviles por Tipo de Aplicación (Tomado de [3])	4
Figura 3: Arquitectura WiMAX (Tomado de [10])	11
Figura 4: Despliegue Mundial de LTE (Tomado de [12])	15
Figura 5: Arquitectura LTE (Tomado de [1])	16
Figura 6: Arquitectura Evolved Packet Core (EPC) (Tomado de [13])	17
Figura 7: Conexiones Globales de LTE (Tomado de [16])	22
Figura 8: Cantidad de Conexiones en Latinoamérica (Tomado de [17])	23
Figura 9: Esquema de Duplexación FDD	29
Figura 10: Esquema de Duplexación TDD	31
Figura 11: Despliegue Mundial de TDD (Tomada de [12])	33
Figura 12: Ecosistema Ideal LTE (Tomada de [23])	34
Figura 13: Esquemas de Duplexación en LTE (Tomada de [2])	37
Figura 14: Modelado de Tramas en LTE (Tomada de [2])	38
Figura 15: Trama del esquema TDD (Tomada de [25])	39
Figura 16: Configuraciones de Tramas TDD (Tomada de [2])	40
Figura 17: Plantilla de Tecnologías en Atoll™	48
Figura 18: Configuración de Coordenadas	49
Figura 19: Importación de Mapas	50
Figura 20: Ventana de Sitios	52
Figura 21: Campos de Sitios	52
Figura 22: Importación de Sitios	53
Figura 23: Importación de Antenas	55
Figura 24: Ejemplo de Predicción por CINR	59
Figura 25: Asignación Espectral de 3GPP para la banda 2.5 GHz	62
Figura 26: Predicción de Borde de Cobertura por RSSI	71
Figura 27: Predicción de Punto Intermedio por RSSI	71
Figura 28: Resultados de Drive Test por RSSI	72
Figura 29: Predicción de Borde de Cobertura por CINR	73
Figura 30: Predicción de Punto Intermedio por CINR	73
Figura 31: Resultados de Drive Test por CINR	74
Figura 32: Predicción de Borde de Cobertura por Preamble Index	75
Figura 33: Predicción de Punto Intermedio por Preamble Index	75
Figura 34: Resultados de Drive Test por Preamble Index	76
Figura 35: Predicción por RSSI	78
Figura 36: Histograma de Predicción por RSSI	78
Figura 37: Predicción TDD por CINR	79
Figura 38: Histograma de Predicción TDD por CINR	79
Figura 39: Predicción FDD por CINR	80
Figura 40: Histograma de Predicción FDD por CINR	80
Figura 41: Predicción TDD por Throughput	81
Figura 42: Histograma de Predicción TDD por Throughput	81
Figura 43: Predicción FDD por Throughput	82
Figura 44: Histograma de Predicción FDD por Throughput	82
Figura 45: Simulación en TDD	85
Figura 46: Simulación en FDD	85

Lista de Tablas

Tabla 1: Versiones del IEEE 802.16	13
Tabla 2: Elementos de Red EPC (Tomado de [13])	18
Tabla 3: Comparativa LTE-WiMAX	25
Tabla 4: Especificaciones LTE y WiMAX (Tomado de [11])	27
Tabla 5: Comparativa de Esquemas de Duplexación (Tomada de [13])	32
Tabla 6: Bandas de Frecuencia (Tomada de [24])	36
Tabla 7: Rendimiento de LTE	41
Tabla 8: Predicciones Atoll™ (Tomado de [13])	58
Tabla 9: Cronograma de Drive Test	61
Tabla 10: Propuesta de Asignación Espectral	63
Tabla 11: Cronograma de Migración	67
Tabla 12: Cronograma de Actividades en el Tiempo	68
Tabla 13: Parámetros de Configuración WiMAX	70
Tabla 14: Parámetros Configurados en LTE	77
Tabla 15: Predicción por RSRQ	84
Tabla 16: Comparativa Simulación WiMAX y Drive Test	86
Tabla 17: Comparativa de Esquemas de Duplexación	87
Tabla 18: Comparativa de Simulación de Esquemas de Duplexación	88
Tabla 19: Comparativa de WiMAX y LTE FDD	88

Lista de Abreviaciones

1G	Primera Generación
2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Cuarta Generación
aGW	Access Gateway
ARIB	Association of Radio Industries and Business
BW	Bandwidth
CDMA	Code Division Multiple Access
CINR	Carrier to Interference+Noise Ratio
CQI	Channel Quality Indicator
DL	Downlink
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
eNodeB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Services
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid automatic repeat request
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber System
ICIC	Inter Cell Interference Coordinator
IMS	IP Multimedia Subsystems
IMT	International Mobile Telecommunications
IMT-2000	International Mobile Communications 2000
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector
KPI	Key Performance Indicators
LTE	Long Term Evolution
MAN	Metropolitan Area Network

MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
NMT	Nordic Mobile Telephone
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PCRF	Policy Charging and Rules Function
P-GW	Packet Data Network Gateway
PHY	Physical Layer
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSSI	Relative Signal Strength Indicator
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier- Frequency Division Multiple
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SPM	Standard Propagation Model
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TELCOR	Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos
UE	User Equipment
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
W-CDMA	Wideband CDMA
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ABSTRACT	V
RESUMEN	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE ABREVIACIONES	IX
TABLA DE CONTENIDO	XI
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	6
JUSTIFICACIÓN	7
ESCENARIO DE INVESTIGACIÓN	8
MARCO TEÓRICO	9
CAPÍTULO I: TECNOLOGÍAS 4G	9
1.1 ¿QUÉ ES WIMAX?	9
1.2 ARQUITECTURA	10
1.3 SERVICIOS.....	11
1.3.1 Beneficios WiMAX móvil	11
1.3.2 Versiones del estándar IEEE 802.16	14
1.4 ¿QUÉ ES LTE?	14
1.4.1 Arquitectura.....	16
1.4.2 Proceso de Creación de LTE	18
1.4.2.1 IMT-2000 y IMT-Advanced	19
1.4.2.2 Requisitos IMT-Advanced [15]	20
1.5 ¿LTE ES 4G?	20
1.5.1 LTE en la Actualidad.....	21
1.5.2 LTE en Latinoamérica.....	22
1.5.3 LTE en Nicaragua	23
1.6 TABLA COMPARATIVA LTE – WIMAX	23
1.7 TABLA COMPARATIVA DE VERSIONES DE TECNOLOGÍA	27
CAPÍTULO II: ESQUEMAS DE DUPLEXACION	28
2.1 ESQUEMAS DE DUPLEXACIÓN	28
2.1.1 FDD	29
2.1.2 TDD	30
2.1.3 Despliegue Sistemas de Duplexación	33
2.1.4 Bandas de Frecuencias.....	35
2.1.5 Sistemas de Duplexación en LTE	37
2.1.5.1 Esquema FDD	38
2.1.5.2 Esquema TDD	39

2.2	RENDIMIENTO DE TDD-LTE Y FDD-LTE	41
CAPITULO III: METODOLOGÍA		43
3.1	DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS.....	43
3.2	WIMAX	43
3.3	LTE.....	43
3.4	ELECCIÓN DE ATOLL™.....	43
3.5	CONFIGURACIÓN DE ATOLL™	44
3.5.1	<i>Predicciones</i>	57
3.5.2	<i>Simulación</i>	59
3.6	PRUEBAS DE CAMPO.....	60
3.6.1	<i>Drive Test</i>	61
3.7	ASIGNACIÓN ESPECTRAL.....	62
3.8	POLÍTICAS DE MIGRACIÓN DE YOTA DE NICARAGUA.....	64
3.9	REÚSO DE EQUIPOS	65
3.10	CRONOGRAMA DE MIGRACIÓN.....	66
CAPITULO IV: MEDICIONES Y SIMULACIONES		69
4.1	ELECCIÓN DE MODELO DE PROPAGACIÓN	69
4.2	WIMAX	70
4.2.1	<i>Predicción por RSSI</i>	71
4.2.2	<i>Predicción por CINR</i>	73
4.2.3	<i>Predicción por Preamble Index</i>	75
4.3	LTE.....	77
4.3.1	<i>Predicción por RSSI</i>	78
4.3.2	<i>Predicción por CINR</i>	79
4.3.2.1	TDD.....	79
4.3.2.2	FDD.....	80
4.3.3	<i>Predicción por Throughput</i>	81
4.3.3.1	TDD.....	81
4.3.3.2	FDD.....	82
4.3.4	<i>Predicción por RSRQ</i>	83
4.3.5	<i>Simulación</i>	84
4.3.5.1	TDD.....	85
4.3.5.2	FDD.....	85
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS		86
5.1	COMPARACIÓN DE PREDICCIÓN WIMAX CON RED YOTA	86
5.2	COMPARACIÓN DE ESQUEMAS DE DUPLEXACIÓN EN LTE	87
5.2.1	<i>Predicciones</i>	87
5.2.2	<i>Simulación con Tráfico</i>	87
5.3	COMPARATIVA DE RED WIMAX CON LTE FDD	88
5.4	MIGRACIÓN DE TERMINALES	89
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		90
6.1	CONCLUSIONES.....	90
6.2	RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA		93
ANEXOS		96

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles se introdujeron por primera vez en la década de 1980, no obstante el constante avance tecnológico mundial permitió que esta primera implementación (1G) fuera mejorando y migrando a tecnologías más eficientes como se muestra en la figura 1, pero al realizar estos cambios cada país o empresa fueron creando su propio estándar de tecnología, lo que llevó a un crecimiento de tecnologías no interoperables de manera global. [1]

En la actualidad hay empresas y organismos regionales tratando de establecer un estándar mundial para las nuevas tecnologías basándose en los requerimientos propuestos por la ITU (International Telecommunication Union, por sus siglas en inglés) a través del IMT-Advanced. [2]

Hoy en día existe una competencia por el mercado global de comunicaciones móviles entre el estándar 802.16 (WiMAX, Worldwide Interoperability for Microwave Access por sus siglas en inglés) y 3GPP Releases (LTE, Long Term Evolution por sus siglas en inglés) debido a ser los únicos que cumplen con los requerimientos del IMT-Advanced para cumplir con las constantes demandas de los usuarios móviles que se espera que para el periodo 2015-2020 sea de aproximadamente 860 ExaBytes [3].

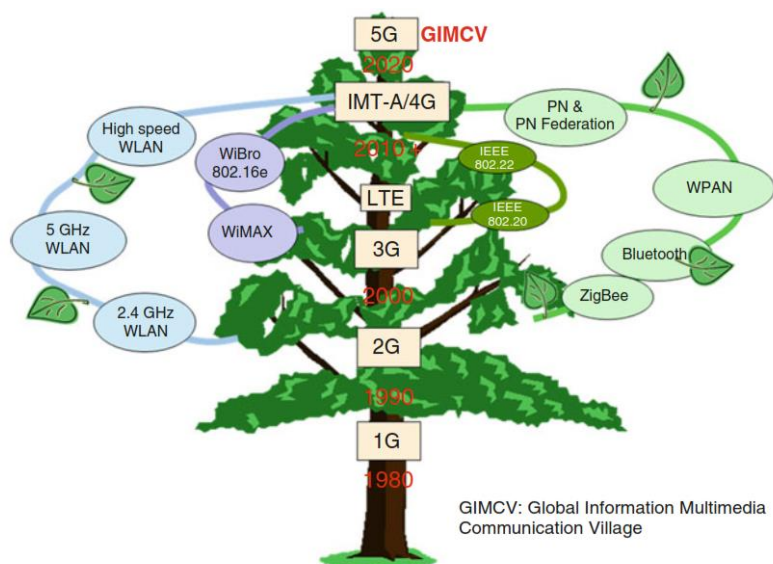


Figura 1: Evolución de Generaciones Celulares (Tomado de [4])

Contexto histórico

A partir del advenimiento digital en las comunicaciones móviles y el uso masivo del Internet se dejó de pensar que las redes celulares eran únicamente para transmisión de voz y se creó un nuevo mundo de aplicaciones para las comunicaciones móviles. Desde este punto de partida se integraron las redes de voz, datos y video en una gran plataforma, hasta llegar a la convergencia de servicios que experimentamos hoy en día.

Esta convergencia atrajo la atención de algunas industrias cercanas a las comunicaciones móviles. Tal es el caso de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers por sus siglas en inglés), perteneciente a la industria de las redes de computadoras. El grupo de trabajo IEEE se ha destacado por crear estándares de capa física en los modelos de comunicación actuales, como el ya muy conocido Ethernet (IEEE 802.3). Posteriormente incursionaron en las comunicaciones inalámbricas creando el muy exitoso Wi-Fi® (IEEE 802.11). Al lograr el gran despliegue mundial de Wi-Fi® (marca de la Wi-Fi Alliance), decidieron llevar este principio de funcionamiento a redes MAN (Metropolitan Area Network), y es aquí donde nace WiMAX (IEEE 802.16), llamado popularmente Wi-Fi® con esteroides.

WiMAX se creó como una solución de banda ancha para grandes extensiones de territorio. La tecnología IEEE 802.16 tuvo gran aceptación en su momento, logrando que Sprint, uno de los operadores de telefonía móvil más grande de Estados Unidos, decidiera migrar su red hacia WiMAX. Del mismo modo, logró obtener apoyo de grandes empresas como CISCO System, NOKIA y su mayor apuesta fue por parte de INTEL Corporation, que prometió desarrollar e integrar módulos de recepción WiMAX a todas las computadoras.

Sin embargo la realidad de WiMAX fue diferente, ya que en el año 2008 apareció una tecnología similar creada por un grupo llamado 3GPP (3rd Generation Partnership Project, por sus siglas en inglés), creador de la estandarización de la tecnología de GSM (Global System for Mobile Communications por sus siglas en inglés) mediante el grupo de trabajo (Technical Specification Group GSM EDGE Radio Access Network) del programa de cooperación 3GPP, además, creador de la tecnología UMTS

(Universal Mobile Telecommunications System por sus siglas en inglés) y HSPA (High-Speed Packet Access por sus siglas en inglés); este grupo de desarrollo posee un historial amplio en comunicaciones móviles, lo cual le brindó experiencia de tecnologías predecesoras para crear el Long Term Evolution.(LTE).

Hoy en día WiMAX aún es una tecnología instalada en zonas como Rusia, Pakistán, Nicaragua y Estados Unidos, sin embargo su crecimiento es casi nulo debido que la mayoría de las empresas del mundo adoptaron de manera positiva la tecnología LTE sobre WiMAX, porque posee mejores especificaciones técnicas, como latencia y velocidad de transmisión de datos.

En la actualidad, Sprint está migrando sus redes 3G y WiMAX hacia LTE, además CISCO dejó de producir equipos para WiMAX y NOKIA no obtuvo buenos resultados con sus dispositivos WiMAX, por el otro lado la tecnología del 3GPP tiene un crecimiento exponencial en su despliegue mundial.

Necesidad por redes de cuarta generación

Durante muchos años, el tráfico de voz ha sido el predominante en las redes de comunicaciones móviles. El crecimiento del tráfico de datos en sus inicios fue lento, pero a partir del año 2010, el tráfico de datos tuvo un crecimiento dramático. Principalmente por el iPhone de Apple en el 2007, seguido por los dispositivos basados en el sistema operativo Android a partir del 2008. Todo este despliegue de teléfonos móviles inteligentes fue soportado por una arquitectura de red 3.5G que permitía acceso a servicios de datos móviles. [5]

Como resultado de este cambio de paradigma tecnológico las redes 2G y 3G se encontraron en un congestionamiento por las altas demandas de tráfico a partir del año 2010. Teniendo esto en cuenta podemos notar la necesidad de una tecnología de acceso que tuviese un mejor aprovechamiento de anchos de bandas y mejores tasas de transferencia de datos, para cubrir las demandas de los usuarios.

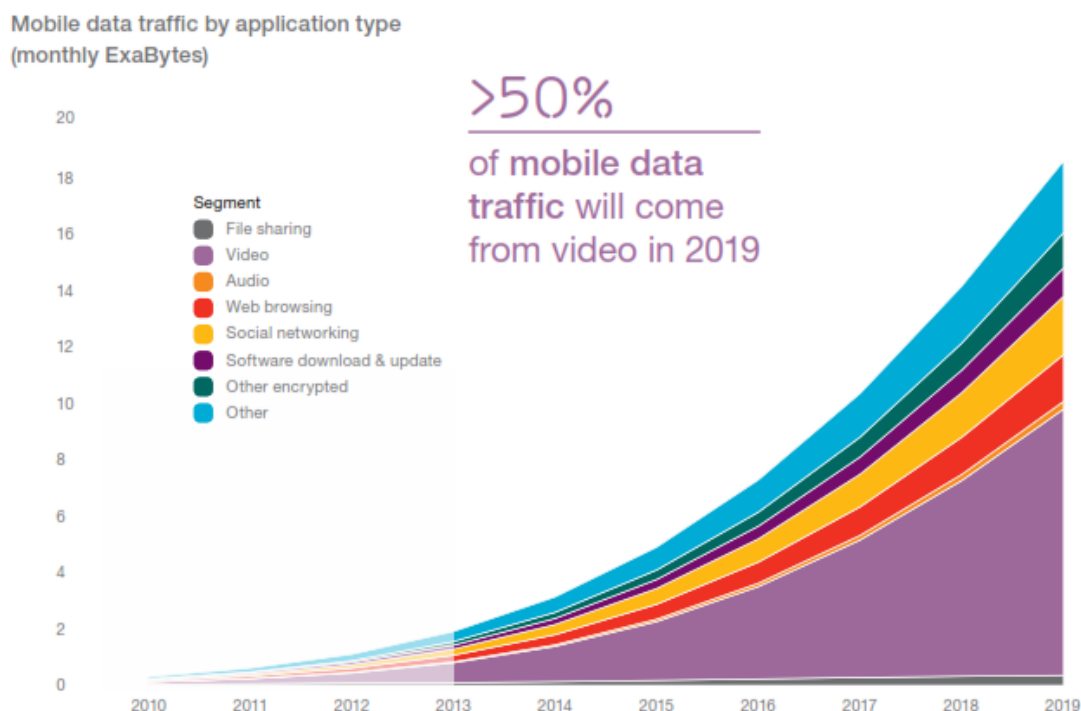


Figura 2: Tráfico de Datos Móviles por Tipo de Aplicación (Tomado de [3])

En el mes de Noviembre del año 2013, Ericsson publicó su reporte de movilidad, donde podemos constatar que los resultados expuestos en la figura 2 nos muestran que el tráfico de datos ha crecido de manera exponencial y continuará creciendo en los siguientes años de forma exorbitante. [3]

Se estima que para el año 2019 el tráfico de video llegue a ser el 50%, del tráfico cursado, como se muestra en la figura 2. Requiriendo que las redes móviles sean cada vez más rápidas y con mejor calidad, por ende solo las tecnologías de cuarta generación en adelante podrán solventar las necesidades de la población mundial.

No obstante, el problema no es solo brindar altas tasas de transferencias de datos, sino también poder proveer a los usuarios finales con una conexión que cumpla con bajas latencias para poder soportar aplicaciones como videos, VoIP streaming, video conferencias, online gaming, etc.

¿Qué es Yota?

Yota es una empresa rusa desarrolladora y proveedora de servicios innovadores de telecomunicaciones móviles. Es una de las compañías líderes mundiales en desarrollar tecnologías de última generación y la puesta en

funcionamiento de redes basadas en esa tecnología. La empresa provee conexión rápida a Internet y una serie de servicios adicionales basados en su propia red. [6]

Se extiende a través de Rusia (Moscú, San Petersburgo, Ufa, Sochi, Krasnodar regiones con una población de más de 30 millones de personas), Nicaragua, Perú y Bielorrusia. La red de Yota de Nicaragua opera bajo el estándar IEEE 802.16e-2005 con la frecuencia 2.5-2.6 GHz. [6]

A partir del año 2009 Yota inicia operaciones en Nicaragua. En diciembre de este año despliega su red WiMAX móvil en Managua. En Mayo 2011 inicia el despliegue de su red en el centro de Masaya. La red de transporte fue construida por Yota con 100% fibra. Actualmente ofrece servicios de internet residencial y corporativo con velocidades dinámicas.

¿Qué significa Yota? Yota viene de dos palabras, la palabra lota y la palabra Yottabyte. Lota significa algo pequeño. Yottabyte es la unidad de medida de datos más grande en existencia. [6]

Los acontecimientos de Yota [6]

- Septiembre 2008 (Despliegue de la red Yota) – Yota despliega la primera red de WiMAX en el país de Rusia, convirtiéndose en el primer proveedor de servicios de internet 4G en Europa del este.
- Diciembre 2009 (Despliegue de la Primera Red WiMAX en América Central) – Solo seis meses después de la creación de Yota de Nicaragua, la primera etapa de la red Yota termino.
- Julio 2010 (Lanzamiento comercial) – La empresa oficialmente lanzo sus planes: Yota mes y Yota día.
- Mayo 2011 (Nuevo plan postpago) – Yota de Nicaragua ofrece un nuevo plan postpago.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio técnico de migración de la red de acceso de la tecnología WiMAX hacia LTE mediante las recomendaciones del 3GPP Release 8 para la empresa Yota de Nicaragua en la ciudad de Masaya.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Realizar un análisis comparativo entre las tecnologías WiMAX y LTE (similitudes y diferencias), para determinar la mejor solución en base a las necesidades y políticas de la empresa Yota de Nicaragua.
2. Determinar el mejor esquema de duplexación para una futura implementación de red LTE bajo las necesidades y parámetros técnicos de la empresa Yota de Nicaragua.
3. Simular el área de interés con cobertura LTE de la ciudad de Masaya mediante el software Atoll™ para analizar sus ventajas e interoperabilidad con la tecnología WiMAX.
4. Proponer un cronograma de migración de la red de acceso para definir en el dominio del tiempo el proceso de migración total hacia la tecnología LTE (Release 8).
5. Definir las frecuencias de operación y equipos reutilizables para realizar el proceso de migración de tecnología según las políticas y necesidades de la empresa Yota de Nicaragua.

JUSTIFICACIÓN

Con el crecimiento de las demandas de capacidades, servicios y prestaciones superiores a las que proporcionan las redes móviles actuales surge una nueva gama de tecnologías. Lo anterior implica que los operadores tienen la necesidad de implementar nuevas tecnologías para soportar el aumento de tráfico.

La necesidad de nuevas aplicaciones, disponibilidad de mayor velocidad y capacidad de gestión en las redes está impulsando la rápida inversión en la tecnología LTE (Long Term Evolution). Esta solución de red inalámbrica parte con el objetivo de incrementar la velocidad, reducir la latencia y desde luego reducir el costo por megabits.

Al ser LTE el estándar que soporta la más alta velocidad de transmisión de datos en comparación a las tecnologías existentes de comunicaciones móviles, Yota de Nicaragua ha decidido migrar hacia el estándar del 3GPP por ser la solución que mejor se adapta a sus políticas y necesidades.

La migración de tecnología le permitirá a Yota de Nicaragua mejorar significativamente en términos de latencia, calidad de servicio y eficiencia espectral en comparación a su actual red. Mantendrá la misma zona de cobertura pero con una mayor capacidad de usuarios por sector. Además, mitigando la problemática de proveedores de equipos. Todo esto bajo la política de realizar una migración transparente al usuario final, manteniendo la misma dinámica de conexión. Lo cual permitirá una experiencia más satisfactoria al cliente y la disponibilidad de una nueva gama de aplicaciones multimedia.

ESCENARIO DE INVESTIGACIÓN

Para el proceso de investigación, se usará el área urbana de la ciudad de Masaya del departamento homónimo en Nicaragua, que cuenta con una densidad poblacional de 991 hab./km² [7]. Dicha locación se tomó en consideración debido a ser un área de cobertura de la empresa Yota de Nicaragua que se usará como proyecto piloto de estudio para la migración hacia la tecnología LTE.

Desde el punto de vista geo-político la ciudad de Masaya es considerada una zona urbana, al ser una cabecera departamental. Sin embargo, la ciudad no tiene una densidad poblacional mayor a 2000 hab./km², igualmente no goza de edificaciones de gran altura. Desde la perspectiva tecnológica, se considera la ciudad de Masaya, un área suburbana, debido a no cumplir con la definición de zona urbana para RF (Radio Frequency).

La cabecera departamental de Masaya actualmente cuenta con cuatro sitios para brindar cobertura WiMAX. La zona de estudio representa una densidad baja de clientes y un área de cobertura más reducida en comparación a la densidad poblacional de 4,314 hab/ Km² de la red principal (Managua), lo cual brinda condiciones ideales de experimentación.

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I: TECNOLOGÍAS 4G

1.1 ¿Qué es WiMAX?

WiMAX es una tecnología de comunicación en red inalámbrica similar a Wi-Fi®, excepto que WiMAX proporciona acceso de banda ancha de alta velocidad en un área mucho más grande. Además, las redes WiMAX tienen menos interferencia que Wi-Fi® debido al uso privativo del espectro. Los equipos portátiles y dispositivos móviles para Internet habilitados para el servicio WiMAX pueden tener acceso a Internet casi en todas partes de la amplia zona de cobertura y en sitios donde no haya zonas activas Wi-Fi® disponibles. WiMAX permite el acceso móvil a Internet. Por ejemplo, usted podría estar viajando por autobús a través de la ciudad y mantener la conexión continua a Internet.

WiMAX Forum es una corporación sin fines de lucro formada por los proveedores de equipos y componentes para promover la adopción de IEEE 802.16 compatibles con los equipos de los operadores de sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha, que es comparable a la Alianza Wi-Fi® en la promoción del estándar IEEE 802.11.[8].

La versión móvil de IEEE 802.16 se ha desarrollado en el estándar IEEE 802.16e (nombre oficial, “capas físicas y Medio de control de acceso para el combinado fijo y Operación Móvil en bandas con licencia”), que se conoce comúnmente como Mobile WiMAX. El estándar IEEE 802.16 fue desarrollado para entregar sin línea de vista directa (NLOS, por sus siglas en inglés), conectividad entre una estación de abonado y la estación base. [8]

Las plataformas de WiMAX y 3G difieren: WiMAX está concebido para plataformas informáticas, tales como ordenadores portátiles, mientras que 3G prevé dispositivos móviles, como PDAs y teléfonos celulares.

1.2 Arquitectura

La arquitectura de WiMAX móvil de extremo a extremo se desarrolla en una plataforma todo IP. En la Figura 3 se representa una red WiMAX, que consta de tres partes principales [9]:

1. MS o SS (Mobile Station o Subscriber Station): Es el equipo del usuario que proporciona la conectividad entre el dispositivo final y una estación base de la red.
2. ASN (Access Service Network): La red de servicio de acceso contiene todas las estaciones bases (BSs) y ASN gateways (ASN-GWs). El ASN es un completo grupo de funciones de red necesarias para proveer acceso inalámbrico a todos los usuarios de la red WiMAX.
3. CSN (Connectivity Service Network): La red de conectividad de servicios está compuesta por routers/switches además de un grupo de servidores, como el AAA server (Authentication Authorization Accounting), HA server (Home Agent), DHCP server, DNS server y PCRF server (Policy and Charging Rules Function).

CSN es un grupo de funciones de red que brindan servicio de conectividad IP a los usuarios. Dentro de sus funciones principales están:

- Direccionamiento de capa 3
- Acceso al Internet
- Acceso a servidores AAA
- Políticas de control de admisión
- Procesos de facturación
- Proceso de comunicación entre ASN y CSN

Cabe destacar que en esta parte de la arquitectura las funciones pueden estar centralizadas en un solo dispositivo, de la misma manera pueden estar distribuidas en múltiples puntos en función de las necesidades del proveedor de servicios que implementa la tecnología. [9]

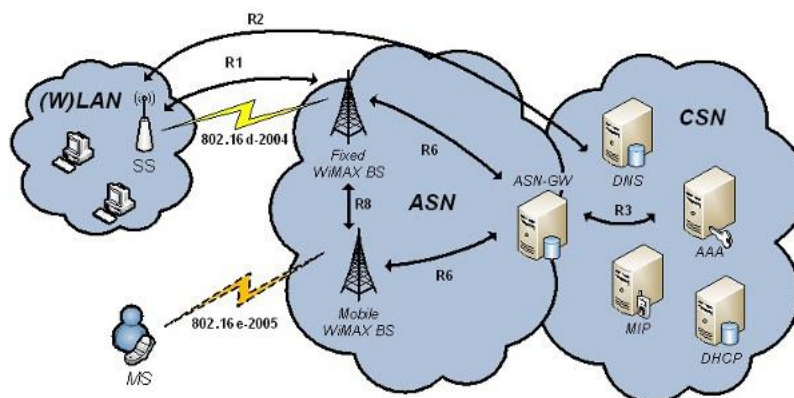


Figura 3: Arquitectura WiMAX (Tomado de [10])

1.3 Servicios

Con WiMAX móvil se puede acceder a internet desde una ubicación fija o ir en línea cuando y donde quiera que elijas dentro del área de cobertura. Esta tecnología amplía los servicios a los dispositivos móviles para los usuarios remotos, los clientes obtienen:

- Multimedia Mejorada
- Navegación WEB en modo nativo
- Acceder a una red empresarial desde cualquier punto.
- Acceder a Internet sin necesidad de cables.
- Conectarse sin cables con un PC, un portátil, una PDA, un teléfono móvil con conexión WiMAX.
- Servicio de HotSpot para acceso restringido por tiempo o volumen.
- Acceder a servicios de VoIP sin cables.

1.3.1 Beneficios WiMAX móvil

Ofrece Internet de alta velocidad. Estamos hablando de velocidades de 10 Mbps comparable con conexiones de cable de banda ancha, que es la forma más extendida de acceso a Internet hoy en día. Estas velocidades le permiten descargar las aplicaciones intensivas en datos sobre la marcha: películas con calidad DVD, streaming de vídeo y programas de televisión, música o juegos.

Con WiMAX móvil no necesitas cables para establecer la conexión. Sólo tiene que conectar un módem en su ordenador portátil o PDA (si no tiene ya un chipset WiMAX incorporado), y la red será detectada automáticamente. En este sentido, WiMAX móvil no es diferente de Wi-Fi®, pero tiene una gama de servicios mucho más amplia. Si bien el acceso inalámbrico a Internet Wi-Fi se limita a una oficina o una cafetería, una red WiMAX móvil puede cubrir toda una ciudad.

Tabla 1: Versiones del IEEE 802.16

Versiones de la familia de estándares IEEE 802.16

Estándar	Fecha de aprobación	Espectro (GHz)	Funcionamiento	Tasa binaria	Modulación	Movilidad	BW (MHz)	Radio de celda
IEEE 802.16	Diciembre 2001	10 - 66	Visión directa (LOS)	134 Mbps (canales de 28 MHz)	QPSK, 16QAM, 64 QAM	Sistema fijo	20, 25 y 28	2 - 5 km
IEEE 802.16a	Enero 2003	2 - 11	Sin visión directa (NLOS)	75 Mbps (canales de 20 MHz)	OFDM con 256 subportadoras, QPSK, 16QAM, 64QAM	Sistema fijo	Seleccionables entre 1,25 y 20	5 - 10 km (50 km con LOS)
IEEE 802.16d	Junio 2004	2 - 11	Revisión del anterior con modificaciones de la capa MAC. Sin visión directa (NLOS)	75 Mbps (canales de 20 MHz)	OFDM con 256 subportadoras BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	Sistema fijo	Seleccionables entre 1,25 y 20	5 - 10 km (50 km con LOS)
IEEE 802.16e	Diciembre 2005	2 - 6	Sin visión directa (NLOS)	55 Mbps (canales de 5 MHz)	OFDMA con 2048 subportadoras BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	Movilidad de hasta 120 km/h	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	2 -5 km (10 km con LOS)

1.3.2 Versiones del estándar IEEE 802.16

A partir de la tabla 1, podemos constatar el avance tecnológico en el estándar WiMAX partiendo de su primera versión en el año 2001, donde solo trabajaba con dispositivos finales fijos y con línea de vista. La última versión de WiMAX llamada popularmente WiMAX 2.0 (802.16m) no está incluida en la tabla debido a no ser una versión desplegada comercialmente. El 802.16e o WiMAX móvil es la versión más empleada en el mundo y es la versión que resolvió los problemas de movilidad de la tecnología y permite conexiones con no línea de vista (NLOS). En conclusión la tecnología IEEE 802.16 es una muy buena solución de banda ancha y en su versión 802.16m responde a todas las exigencias de una red 4G según ITU.

1.4 ¿Qué es LTE?

LTE (Long Term Evolution) o en español evolución a largo plazo, es la respuesta de la industria de redes de comunicaciones móviles ante las nuevas demandas de la población de mejores y más rápidas redes de comunicación móvil. Como sus siglas lo infiere esta tecnología fue creada, para ser mejorada, seguir desarrollándola por largo plazo en base a sus predecesores como GSM (Global System for Mobile Communications por sus siglas en inglés), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution por sus siglas en inglés) y HSPA (*High-Speed Packet Access por sus siglas en inglés*).

El concepto de LTE fue discutido en detalle en el año 2004 en el Radio Access Network Workshop, en la ciudad de Toronto, Canadá. Esta reunión fue conformada por más de 40 operadores de telecomunicaciones, institutos técnicos reconocidos internacionalmente, así como, universidades e instituciones del 3GPP y no 3GPP. El resultado de este workshop fue un estudio de viabilidad iniciado por el 3GPP de diseñar e implementar una tecnología de red inalámbrica de paquetes de datos a altas velocidades y baja latencia. El resultado de esto son todos los Releases del estándar LTE creados hasta la fecha. [11]

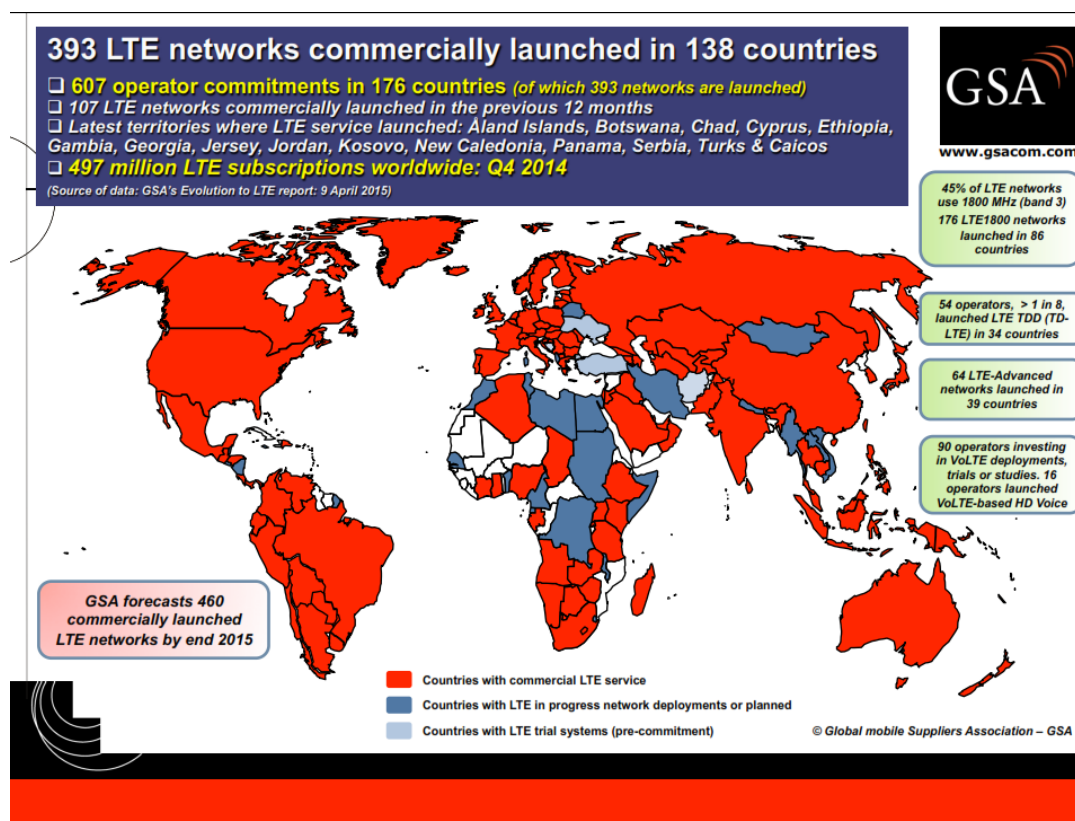


Figura 4: Despliegue Mundial de LTE (Tomado de [12])

Desde el año 2009 que la empresa Nórdica TeliaSonera implementó la primera red LTE en el mundo, su crecimiento no ha parado. Según datos de GSA (The Global Mobile Suppliers Association, por sus siglas en inglés) LTE ha tenido gran impulso en los últimos años, hasta la fecha más de 138 países ya cuentan con redes LTE desplegadas y una vasta mayoría está en proceso de implementación como se observa en la figura 4 publicada el 9 de Abril del 2015. [12]

Este proceso de migración de tecnologías no concluye con solo hacer el cambio hacia LTE. A como sus siglas lo infieren, es una tecnología en constante evolución. Por el momento el despliegue de LTE se enfoca en su Release 8 como punto de partida pero las implementaciones LTE-Advanced ya están en ejecución. En Junio 2013 SK Telecom lanzó comercialmente en Corea del Sur la primera red LTE-Advanced que permite el uso de Carrier Agregación (Agregación de Portadoras), abriendo al mundo a la constante evolución de LTE.

1.4.1 Arquitectura

Las partes que componen la arquitectura de una red LTE son [11]:

1. El equipo de usuario (UE): se compone de dos elementos básicos como son el propio dispositivo móvil o terminal (denominado como Mobile Equipment, ME) y una tarjeta UICC (del inglés Universal Integrated Circuit Card).
2. La red de acceso (AN): 3GPP ha especificado tres tipos de redes de acceso diferentes: GERAN (del inglés GSM/EDGE Radio Access Network), UTRAN (del inglés UMTS Terrestrial Radio Access Network) y E-UTRAN (Evolved UTRAN).
3. La red troncal (CN): se divide de forma lógica en un dominio de circuitos (del inglés Circuit Switched Domain, CS), un dominio de paquetes (del inglés Packet Switched Domain, PS) y el subsistema IP Multimedia (del inglés IP Multimedia Subsystem, IMS).

Bajo las premisas de una red de cuarta generación, el 3GPP trató de crear una arquitectura de red de la forma más simplificada posible y con la menor cantidad de nodos, para poder reducir los tiempos de latencia. Esto se pudo realizar a través de una red sin jerarquía. [1]

De la misma forma establece una nueva red troncal llamada Evolved Packet Core, que al ser combinada con la red de acceso se denomina como Evolved Packet System (EPS), también conocida como LTE [1]

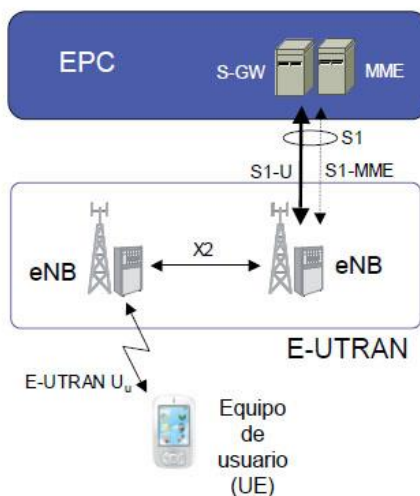


Figura 5: Arquitectura LTE (Tomado de [1])

El estándar LTE define una red de acceso llamada E-UTRAN (Evolved – UMTS Terrestrial Radio Access Network) mostrados en la figura 5 que está formada por todos los eNodeB que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuarios (UE) y la red troncal EPC. Un eNodeB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.”[13]

Tal como se muestra en la figura 6 la red núcleo EPC está formado por tres entidades de red: MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (P-GW). Estos tres elementos, juntos con la base de datos del sistema 3GPP llamado HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos básicos para el correcto funcionamiento de conectividad IP entre los equipos de los usuarios conectados a través de la E-UTRAN. [13].

Además se dispone de un elemento llamado PCRF (Policy and Charging Rules Function) que es un elemento clave de cualquier red 3GPP, que se utiliza para controlar los servicios ofrecidos por la red. Por ejemplo los parámetros asociados a QoS, así como servicios de tarificación. Finalmente resumiremos las funciones de cada elemento de la red núcleo a través de la tabla 2. [13]

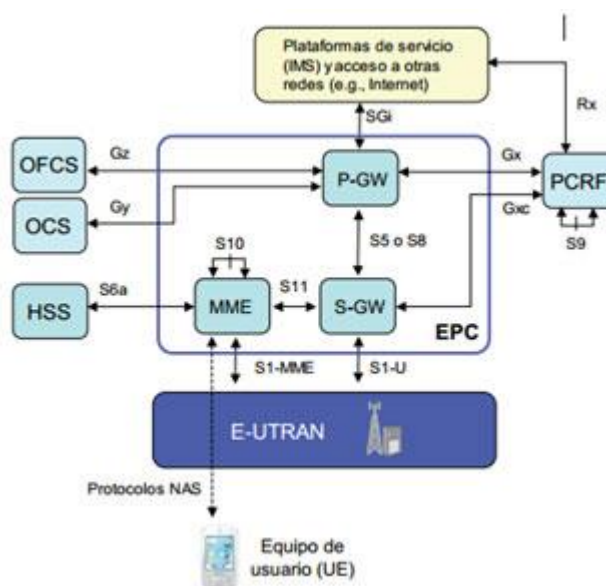


Figura 6: Arquitectura Evolved Packet Core (EPC) (Tomado de [13])

Tabla 2: Elementos de Red EPC (Tomado de [13])

Entidades de red EPC	Denominación	Descripción
	MME	Nodo que canaliza el plano de control de la red LTE
	S-GW	Punto de anclaje del plano de usuario en la red troncal
	P-GW	Pasarela para interconexión con redes externas
Entidades comunes a las redes 3GPP	Denominación	Descripción
	HSS	Base de datos global del sistema (contiene entre otros, los datos de suscripción de los usuarios)
	PCRF	Elemento central del sistema de control de uso de la red (policy control) control de tarificación
	OCS	Nodo de control para la provisión de servicios que requieren tarificación online
	OFCS	Nodo de recogida de la información de tarificación para su posterior transferencia al sistema de facturación

1.4.2 Proceso de Creación de LTE

Durante los años 1990s el desarrollo de la tecnología 2G era inminente con tecnologías mejoradas como GPRS y EDGE, pero al mismo tiempo la puesta en marcha de una nueva generación estaba en camino con grupos como ETSI (European Telecommunications Standards Institute), Europa; ARIB (Association of Radio Industries and Business), Japón; Estados Unidos desarrollaba WCDMA y Corea del Sur por su parte también trabajaba en WCDMA como soluciones para tecnologías 3G.

En este momento fue cuando la ITU intervino creando una institución reguladora, primeramente bajo el nombre Future Public Land Mobile Telecommunications Systems, para posteriormente ser llamado IMT-2000 (International Mobile Communications 2000). Bajo definición de la página oficial de la ITU, IMT-2000 *“es la globalmente coordinada definición de 3G que cubre cuestiones claves como el uso del espectro de frecuencias y los estándares técnicos”*. [14].

Hasta el año de 1998, cuando un grupo de trabajo creado bajo el amparo de ITU definió la tecnología Europea UMTS, sucesora de GSM como

3G. Este grupo de trabajo fue nombrado como Third Generation Partnership Project (3GPP). Este grupo resolvió el problema de la creación de tecnologías en paralelo en las diferentes regiones del mundo, lo cual facilitó la creación de estándares globales. Actualmente el 3GPP cuenta con los siguientes socios: ARIB (Japan), CCSA (China), ETSI (Europe), ATIS (USA), TTA (South Korea), and TTC (Japan). [8]

Cabe destacar que el proceso de creación de la tecnología UMTS como 3G comenzó antes de la creación del 3GPP. Parte del proceso internacional de estandarización ya había sido llevado durante un tiempo adentro de ITU-R. Formalmente este proceso de creación fue entregado al 3GPP.

1.4.2.1 IMT-2000 y IMT-Advanced

ITU-R Working Party 5D (WP5D) tiene la responsabilidad por los sistemas IMT, que es el encargado de definir los sistemas que corresponde a 3G (IMT-2000) o 4G (IMT-Advanced). WP5D no escribe reportes de especificaciones técnicas para IMT, pero tiene el rol de definir las tecnologías que pertenecen a cada IMT en cooperación con los organismos regionales de estandarización para mantener una lista de recomendaciones para IMT-2000 y IMT-Advanced. [2]

El proceso para definir el IMT-Advanced fue hecho por ITU-R WP5D y fue bastante parecido al proceso de creación de la recomendación IMT-2000. ITU-R primero concluyó estudios de servicios y tecnologías, pronósticos de mercado, principios de estandarización, estimación de recursos del espectro e identificación de posibles bandas de frecuencias para candidatas de operación. [2]

En Marzo de 2008 todos los miembros y organizaciones pertenecientes a ITU fueron invitados al proceso de estandarización IMT-Advanced a través de una circular. En 2009, seis tecnologías fueron sometidas al proceso de evaluación realizado en cooperación con cuerpos externos como: foros de industria, grupos nacionales y organizaciones desarrolladoras de estándares. [2] Hasta en 2010 dos tecnologías resultaron electas para ser incluidas en el primer reléase del IMT-Advanced, las cuales son:

- WirelessMax-Advanced basado en IEEE 802.16m
- LTE Advanced Release 10

1.4.2.2 Requisitos IMT-Advanced [15]

- Permitir 100 Mbps peak data rate para alta movilidad
- Permitir 1Gbps peak data rate para baja movilidad
- Permitir interactuar con otros sistemas de acceso de radio
- Alta calidad de servicios móviles
- Flexibilidad para mantener la eficiencia de costos en una gran gama de servicios y aplicaciones
- Capacidad de roaming global
- Eficiencia espectral de 3 bits/Hz/cell en escenarios indoor downlink
- Eficiencia espectral de 0.7 bits/Hz/cell en escenarios uplink de alta velocidad
- Eficiencia pico espectral en el rango de 15 bits/s/Hz
- Escalabilidad de anchos de banda de 40 MHz hasta 100 MHz
- Eficiencia Espectral en borde de célula en el rango de 0.015 bits/s/Hz hasta 0.1 bits/s/Hz
- Requisito de latencia en el plano de control de 100 ms en transición de activo a pasivo
- Requisito de latencia en el plano de usuario de 10 ms
- Soporte de movilidad de hasta 350 kmph
- Interrupción de handover de 27.5 ms para caso intra frecuencial
- Interrupción de handover de 40 o 60 ms para caso inter frecuencial dentro de la banda y entre bandas respectivamente
- Capacidad de VoIP con número de usuarios entre 30 a 50 usuarios por sector/MHz

1.5 ¿LTE es 4G?

Escuchar hoy en día a los operadores de telefonía móvil celular el término 4G, se ha tornado algo muy común como estrategia de mercadeo. Pero de la misma forma existe otro grupo de personas que discuten la tecnología LTE y WiMAX como redes 3.9G. Ambos grupos de personas están en lo correcto.

En principio ITU definió el término 4G solo a las tecnologías que cumplieron los requisitos del IMT-Advanced y fuesen aceptadas como ello. LTE en su primera publicación con su Release 8 no alcanzó llenar los requisitos del

IMT-Advanced, al igual que WiMAX Movil (IEEE 802.16e), por esta razón la comunidad científica describió estas tecnologías como 3.9G.

Estas definiciones técnicas de la comunidad científica no fueron tomadas en cuenta por la industria, que usaron sus redes LTE Release 8 e IEEE 802.16e descrita como redes de nueva generación 4G como estrategia de mercadeo. Sin embargo, desde un punto de vista crítico, suena muy lógico llamarlas 4G, debido que si existe una clara transición entre UMTS y LTE o WiMAX, aunque su rendimiento no cumpla los requisitos de 4G.

Fue hasta en Diciembre 2010 que ITU permitió el consentimiento de llamar a cualquier versión de WiMAX o LTE, redes 4G. Debido al amplio uso del término de manera global. De la misma forma orientó que cualquier tecnología sustancialmente con mejor rendimiento que sistemas 3G, pudiese ser nombrado como 4G. Aunque ITU no definió el significado de “sustancialmente mejor” [5]

1.5.1 LTE en la Actualidad

Un aspecto importante sobre LTE es su increíble impacto en el mundo. Su implementación a nivel global ha sido solamente de manera ascendente desde los últimos años. Según la organización 4GAmericas (organización comercial de la industria compuesta por proveedores de servicios y fabricantes líderes en telecomunicaciones), LTE en Marzo de 2012 apenas poseía 18 Millones de conexiones y en un lapso de un poco más de tres años, en Marzo 2015 alcanzó una cifra exorbitante de 635 Millones de suscripciones a nivel mundial. [16] Ver figura 7.

1Q 2015 LTE Subscribers and Market Shares by World Region

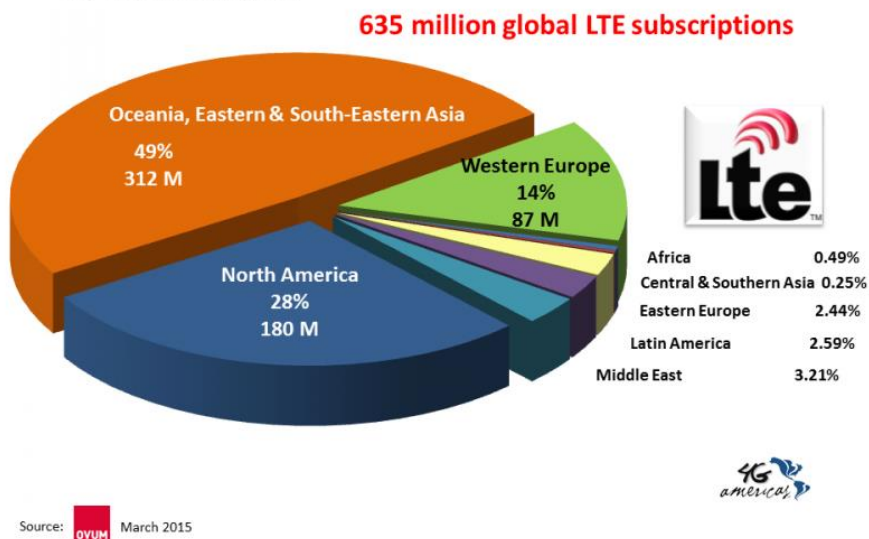


Figura 7: Conexiones Globales de LTE (Tomado de [16])

Aunque LTE ha sido empleado en el mundo de una manera positiva, todavía es una tecnología joven, ya que todavía se espera que el mundo continúe instalando redes LTE, según el Mobility Report de Ericsson publicado en Febrero de 2015 se espera que LTE posea 3.1 billones de suscriptores hacia el año 2020, lo que nos hace pensar que tendremos LTE durante un largo tiempo. [3]

1.5.2 LTE en Latinoamérica

Actualmente la región Latinoamericana no se encuentra muy a la vanguardia del avance en las tecnologías de redes celulares, dando sus primeros pasos con primeras implementaciones LTE con baja cobertura, esto debido a la baja demanda por parte de los usuarios. Debido que la inserción de los llamados smartphones en Latinoamérica es un poco más lenta que en el resto del mundo, las redes LTE no poseen tanta demanda en comparación a países como Japón, Corea del Sur, Estados Unidos etc.

Las implementaciones comerciales de LTE en la región se hacen en pequeños sitios de cobertura, en función de conglomerados de usuarios con móviles o dispositivos capaces de usar las bondades de LTE, pero en su mayoría la región todavía se mantiene en redes 2G como lo demuestra la figura 8.[17]

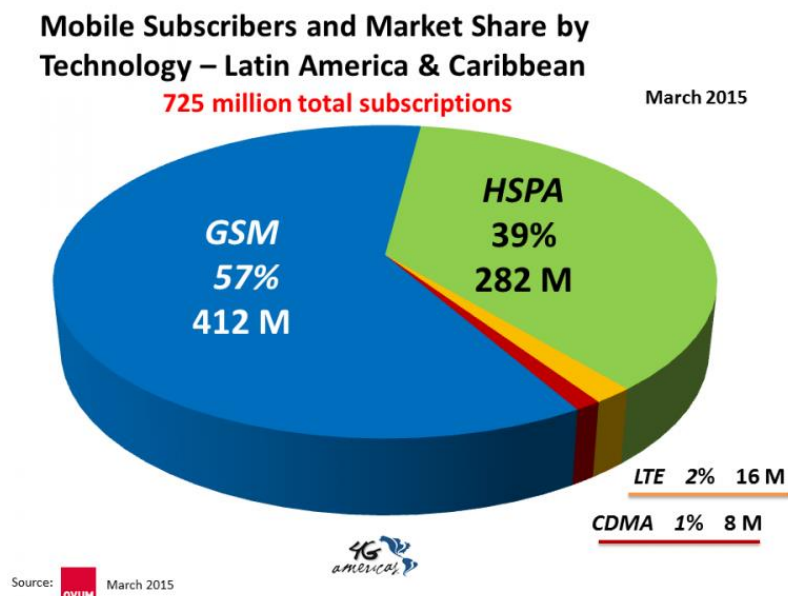


Figura 8: Cantidad de Conexiones en Latinoamérica (Tomado de [17])

Esto hará que una transición hacia redes 4G LTE sea más lenta debido que se tiene que hacer tránsito por redes 3G que se encuentra ya instaladas. Por el otro lado el impacto de LTE si se hace notar en la región ya que la mayoría de países poseen alguna implementación del estándar desarrollado por la 3GPP.

1.5.3 LTE en Nicaragua

En el caso particular de Nicaragua, la información sobre implementación LTE es fugaz y sin veracidad, ya que no se puede encontrar información con fuentes fidedignas. De lo poco que se sabe según una entrevista de prensa realizada al señor Roberto Sansón, (Gerente General de Claro Nicaragua en ese momento) afirmó que dicha empresa en el año 2011 realizó pruebas en la banda de los 700 MHz. [18] De la misma forma la organización 4G Américas sostiene que la empresa Claro Nicaragua, posee LTE en modo de prueba. Hasta el momento en el país no existe ninguna implementación comercial de la tecnología LTE por parte de la Empresa Claro Nicaragua, ni por parte de alguna otra empresa en el país. [19]

1.6 Tabla Comparativa LTE – WiMAX

Ambas tecnologías presentan una arquitectura basada en ALL-IP (Todo-IP), pero LTE presenta una estructura jerárquica más horizontal y con menos nodos que le brinda mejores valores de latencia. Dentro de sus similitudes

ambas optaron por usar como técnica de acceso al medio a OFDMA, que es la forma más robusta de mitigar la interferencia por multi-trayectoria, sacándole el mayor provecho al ancho de banda. Donde LTE le toma ventaja a WiMAX es usar un esquema de acceso al canal diferente en el enlace de subida, SC-FDMA, tomando en cuenta los consumos de potencia en función de la batería de los móviles.

En aspectos de modulación las dos tecnologías optaron por usar métodos adaptativos, teniendo en cuenta el estado del canal para elegir el mejor alfabeto de modulación y realizar la mayor transferencia de información de forma eficaz. De la misma forma ambos grupos de desarrollo definieron anchos de bandas flexibles para las implementaciones de sus tecnologías en cualquier parte del mundo.

La tecnología de multi-antenas MIMO fue elegida para ambos casos debido a sus grandes beneficios de eficiencia espectral. Aunque LTE en sus características particulares llega a tener una mejor eficiencia espectral.

Una de las contrapartes de WiMAX y beneficio de LTE es su interoperabilidad con antiguas tecnologías como GSM, UMTS y HSPA. Esto desde el punto de vista de empresa operadora de servicios le permite hacer una transición suave hacia LTE y no abrupta como WiMAX.

En los puntos que LTE es muy superior a WiMAX es en la latencia, peak data rates y movilidad, que en nuestra opinión son los aspectos que más interesan a un usuario final para poder tener acceso a todas sus aplicaciones de manera rápida y eficaz. Teniendo como premisa que las redes celulares son para ámbito comercial, LTE con todos sus beneficios en rendimiento lo hace una solución más eficaz y atractiva tanto al operador, como al usuario del operador de comunicaciones celulares.

Tabla 3: Comparativa LTE-WiMAX

LTE	WiMAX
Arquitectura	
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Arquitectura Plana basada en ALL-IP ⇒ Reduce elementos de red, para eliminar procesos jerárquicos 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Arquitectura basada en ALL-IP
Acceso al Canal	
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ OFDMA usado en el Downlink ⇒ SC-OFDMA usado en el Uplink 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ OFDMA es el modo utilizado para uplink y downlink
Modulación	
Adaptativa <ul style="list-style-type: none"> ⇒ QPSK ⇒ 16 QAM ⇒ 64 QAM 	Adaptativa <ul style="list-style-type: none"> ⇒ BPSK ⇒ QPSK ⇒ 16 QAM ⇒ 64QAM
Ancho de Banda del Canal	
Flexibles en Esquema TDD o FDD <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 1.4 Mhz ⇒ 3 Mhz ⇒ 5 Mhz ⇒ 10 Mhz ⇒ 15 MHz ⇒ 20 MHz 	Flexibles en Esquema TDD o FDD <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 1.25 Mhz ⇒ 2.5 Mhz ⇒ 5 Mhz ⇒ 10 Mhz ⇒ 20 MHz
Tipos de Antenas	
Permite MIMO hasta 8x8	Permite MIMO hasta 8x8
Interoperabilidad	
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Establece una arquitectura de Evolved Packet Core (EPC) en donde se establecen todas las interfaces y equipos para interconectarse con redes 3GPP y Non-3GPP 	<ul style="list-style-type: none"> Ofrece solo Internet. Es más similar a Wi-Fi® que a otras tecnologías 3G.

Peak Data Rate	
⇒ Downlink de 1 Gbps ⇒ Uplink de 300 Mbps	Velocidad máxima de 75 Mbps y 25 Mbps respectivamente en un rango de 3.5 Km
Eficiencia Espectral	
⇒ En arreglos MIMO 8x8 debe soportar 30 bps/Hz ⇒ En arreglos MIMO 4x4 debe soportar 15 bps/Hz	⇒ DL: 1.91 bps/Hz (2x2) ⇒ UL: 0.84 bps/Hz (1x2)
Movilidad	
⇒ Según la frecuencia de operación debe soportar 350 km/h	Soporta dispositivos a una velocidad de hasta 120 km/h
Desarrollo de Tecnología	
⇒ Es la evolución de GSM, UMTS y CDMA 2000 ⇒ Es una de las tecnologías que cumple con el IMT-Advanced ⇒ Su grupo de desarrollo, 3GPP, continúa desarrollando nuevos releases	⇒ Creado por IEEE ⇒ Estandarizado por WiMAX FORUM ⇒ Es una de las tecnologías que cumple con el IMT-Advanced
Esquemas de Duplexación	
⇒ TDD ⇒ FDD	⇒ TDD ⇒ FDD
Latencia	
⇒ Capa de enlace < 5ms	<50 ms
Capacidad de Celda	
>200 usuarios con BW 5MHz >400 usuarios con BW mayores	100-200 usuarios

1.7 Tabla comparativa de versiones de tecnología

Tabla 4: Especificaciones LTE y WiMAX (Tomado de [11])

	LTE 3GPP (R8)	LTE 3GPP (R10)	WiMAX 802.16e (R1.0)	WiMAX 802.16m (R2.0)
Capa Física	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA
Esquema Duplex	TDD y FDD	TDD y FDD	TDD	FDD y TDD
Movilidad	350 Km/h	350 Km/h	60 -120 Km/h	350 Km/h
BW de Canal	1.4 , 3 , 5, 10, 15 ,20 MHz	1.4 , 3 , 5, 10, 15 ,20 MHz	3.5, 5, 7, 8.75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
Peak Data Rate	DL: 300 Mbps (Antenas 4x4) UL: 75 Mbps (2x4) a 20 MHz FDD	DL: 1Gbps UL: 300 Mbps	DL: 46 Mbps (2x2) UL: 4 Mbps (1x2) a 10 Mhz TDD 3:1 (DL/UL ratio)	DL: 350 Mbps (4x4) UL: 200 Mbps (2x4) a 20 Mhz FDD
Eficiencia Espectral	DL: 15 bps/Hz (2x2) UL: 4 bps/Hz (1x2)	DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz	DL: 1.91 bps/Hz (2x2) UL: 0.84 bps/Hz (1x2)	DL: 2.6 bps/Hz (4x2) UL: 1.3 bps/Hz (2x4)
Latencia	Capa de Enlace <5ms	Capa de Enlace <5ms	Capa de Enlace <20ms	Capa de Enlace <10ms
Capacidad	80 Usuarios por Sector/Mhz (FDD)	80 Usuarios por Sector/Mhz (FDD)	20 Usuarios por Sector/Mhz (TDD)	30 Usuarios por Sector/Mhz (TDD)

En la tabla 4, hacemos una reseña más detallada de las tecnologías en función de sus releases o versiones. Tomando en consideración los parámetros de mayor relevancia, para poder comparar y brindar una idea más clara de las características y rendimiento de los estándares investigados. A partir de esto, se describen el Release 8 de LTE y WiMAX móvil respectivamente; debido a ser tecnologías que ostentan despliegue comercial masivo. Además, se planteó las versiones avanzadas de ambas tecnologías, debido a ser las únicas que cumplen con los requisitos del IMT-Advanced.

CAPITULO II: ESQUEMAS DE DUPLEXACION

Uno de los elementos más importantes para cualquier sistema de comunicaciones es la posibilidad de mantener el flujo de datos en ambas direcciones de la transmisión de manera simultánea. En particular los sistemas celulares necesitan mantener conversaciones o envío de datos en ambas direcciones de la comunicación y para ello se han definido esquemas de control de transmisión. [20]

- Half Duplex: Es el esquema de transmisión que permite la comunicación en ambas direcciones, sin embargo la comunicación solo es permitida en una dirección en un instante de tiempo. Si un receptor está escuchando una conversación tiene que esperar que la transmisión termine para poder él transmitir una respuesta. Este tipo de esquema se usa en sistemas como walkie-talkies o radio comunicación trunking. En algunas ocasiones esta definición pudiese ser conocida como simplex. [20]
- Full dúplex: Es el esquema de transmisión que permite transmisión y recepción simultanea por el mismo canal de comunicación. Sin embargo, aunque es imperceptible para el usuario final, es necesario separar de alguna forma la transmisión de la recepción ya que los equipos de comunicaciones no pueden realizar dos tareas al mismo tiempo. Las dos maneras más conocida de realizar esto es a través de TDD (Time Division Duplex) o FDD (Frequency Division Duplex). [20]

2.1 Esquemas de Duplexación

Esta sección compara TDD y FDD, y se adherirá a las diferencias de estos esquemas puramente desde un punto operativo (despliegue) y de ejecución. Sin embargo, los dos esquemas en LTE tienen muchas más diferencias cuando se compara el diseño y el punto de vista arquitectónico.

Un sistema de comunicación móvil puede operar en los esquemas de transmisión dúplex por división de frecuencia (FDD), la estación base y terminal móvil reciben al mismo tiempo, pero utilizando diferentes frecuencias de portadora. Uso de dúplex por división de tiempo (TDD), que transmiten y reciben en la misma frecuencia portadora pero en momentos diferentes. [5]

2.1.1 FDD

Duplexación por división de frecuencias (FDD por sus siglas en inglés) usa la idea de que la transmisión y recepción de señales es logrado a través del uso de dos diferentes frecuencias.

Para que el esquema FDD funcione de manera satisfactoria es necesario que los canales de recepción y transmisión se encuentren lo suficientemente separados para evitar que se interfieran como se muestra en la figura 9. Este espacio de frecuencia entre el enlace ascendente y descendente se conoce como banda de guarda.

Para FDD el canal de enlace ascendente opera en la frecuencia más baja. Esto se hace porque las frecuencias más altas sufren una mayor atenuación en comparación a las frecuencias más bajas y, por lo tanto, permite que el móvil pueda utilizar niveles de transmisión más bajos. [21]

El receptor en un esquema FDD es un aspecto de mucha consideración, debido que se requieren filtros de alta eficiencia para poder separar las frecuencias de transmisión y recepción respectivamente, este filtro es conocido como diplexer. Para sistemas celulares usando FDD, filtros son requeridos en el eNodeB y en el UE para poder garantizar la no interferencia entre la transmisión y recepción, lo cual hace que el esquema FDD sea de mayor costo debido al empleo de un diplexer. [21]

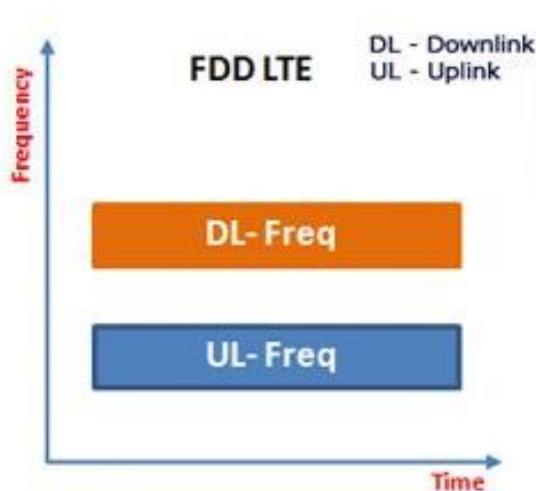


Figura 9: Esquema de Duplexación FDD

No obstante instalar un filtro de alta eficiencia en el eNodeB no es de suma relevancia, pero en el caso del equipo del usuario esto impacta significativamente el precio del terminal, lo cual hace que su precio se incremente y sea una desventaja del esquema FDD con respecto al TDD. [20]

El esquema FDD provee un sistema de comunicación completamente full dúplex, no obstante debido al creciente despliegue de redes inalámbricas, el alojamiento espectral es cada vez más escaso, lo cual presenta una desventaja al FDD. Debido que requiere el doble de ancho de banda espectral en comparación a TDD. Además la banda de guarda básicamente es un espacio perdido, ya que no se puede usar para el envío de información. [20]

2.1.2 TDD

Duplexación por División de Tiempo (TDD por sus siglas en inglés) es el segundo esquema de control de transmisión más usado en el mundo. Este usa un único canal de frecuencia compartido para transmitir y recibir señales. TDD funciona mandando ráfagas de información por periodos en cada dirección (subida o bajada). Los tiempos de conmutación entre el envío y recepción de información son tan rápidos que son imperceptibles para el usuario final, sin embargo estos retardos ponderados de conmutación introducen un retardo mayor en el sistema de comunicación en comparación con FDD.

Mientras FDD requiere una banda de guarda para su implementación, TDD requiere un tiempo de guarda o intervalos de tiempo entre transmisión y recepción de señales. En el esquema TDD el tiempo de guarda tiene que ser lo suficientemente largo para poder solventar los retardos de propagación, que son proporcional a la distancia entre transmisor y receptor. Además de brindar suficiente tiempo a los equipos para realizar su conmutación de recepción o transmisión. En sistemas de comunicación de corta distancia, alrededor una milla, TDD suele ser muy eficiente pero en distancias mayores a una milla los retardos en el sistema pueden ser un gran problema. [20]

Para una configuración TDD, el diseño de hardware es mucho más simple, porque en cualquier momento dado, hay una transmisión o recepción, pero no ambos, como se muestra en la figura 10. En otras palabras, no hay necesidad de un duplexor para tener un camino aislado entre UL - DL en el receptor y transmisor. Esto también hace que el equipo sea económico.

Debido a que no hay diferencia en la frecuencia de UL y DL para TDD, la estimación de canal o el cálculo de pérdida de trayecto en ambas direcciones son similar. Esto facilita la actividad de planificación del presupuesto del enlace (link budget). Esto también significa que la estimación de canal puede ser más robusta en LTE. Del mismo modo, el uso de técnicas de conformación de haces (beamforming) es más sencillo debido que el enlace ascendente y descendente posee las mismas características frecuenciales. [21]

Normalmente las demandas de tráfico en ambas direcciones (subida y bajada) no son balanceadas, es por esta naturaleza, que TDD tiene una ventaja sobre FDD. Debido que el downlink en redes de datos tiene más demanda que el uplink. TDD puede ajustarse a las necesidades del operador, otorgando más slots de tiempo al enlace descendente, lo cual permite una comunicación asimétrica adecuándose a los requerimientos de la red. [20]

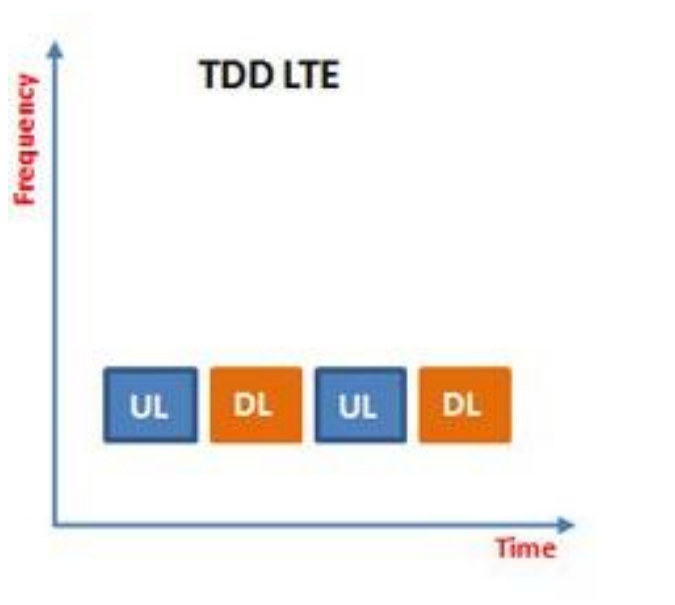


Figura 10: Esquema de Duplexación TDD

El aspecto más desventajoso en el esquema TDD es la latencia. Debido que los datos no pueden ser enviados de inmediato debido a los tiempos de multiplexación entre transmisión y recepción. Esto resultará en un pequeño retardo adicional en la red. Típicamente este retardo está en el orden de los milisegundos, que para algunas aplicaciones puede ser despreciable, no obstante para aplicaciones en tiempo real como VoIP existirá un retardo notable. [20]

Todos los puntos de comparación descritos anteriormente entre los esquemas de duplexación los resumiremos en la tabla 5.

Tabla 5: Comparativa de Esquemas de Duplexación (Tomada de [13])

	TDD	FDD
Uso del Espectro	Usa una única frecuencia para transmisión y recepción	Requiere un canal para transmisión y otro para recepción. Además de bandas de guarda
Trafico	Es posible ajustar fácilmente la capacidad del sistema en cada dirección (subida y bajada) en función de las necesidades de la red, a través del ajuste de slots de tiempo.	La capacidad de subida o bajada está en función del ancho de banda usado y permitido por el regulador. Su ajuste resulta muy difícil
Distancia	Normalmente más eficiente para pequeñas distancias debido que los tiempos de guardia crecen proporcionalmente a la distancia	No tiene ningún problema con cortas o largas distancias
Latencia	Introduce un retardo como resultado de la multiplexación TDD	No introduce ningún retardo adicional
Costo de Equipos	No mayores costos adicionales debido que la conmutación entre recepción-transmisión es barata de implementar	El diplexer suele ser un factor de costo elevado desde el punto de vista del equipo del usuario final

2.1.3 Despliegue Sistemas de Duplexación

FDD es el esquema más común desplegado en todo el mundo para UMTS y WCDMA debido al ser la evolución de sistemas como HSPA y GSM que usan FDD como esquema de duplexación, LTE no ha sido la excepción a esta tendencia. Además los operadores existentes al ya poseer bandas pareadas, solamente cambian la tecnología e usan el espectro ya otorgado por los entes reguladores de cada país lo que permite el despliegue más rápido de la nueva tecnología 4G.

Al día de hoy, la gran parte de las redes LTE han sido desplegadas sobre FDD, no obstante los operadores de China fueron los primeros que hicieron sus apuestas por TDD-LTE, seguidos por operadores en Australia. Sin embargo, el constante proceso evolutivo de las redes móviles brinda cifras muy alentadoras para TDD-LTE debido que la industria está migrando a lo que llaman el ecosistema LTE, donde las redes LTE usarán ambos esquemas de duplexación de forma simultánea según las necesidades de cada operador.

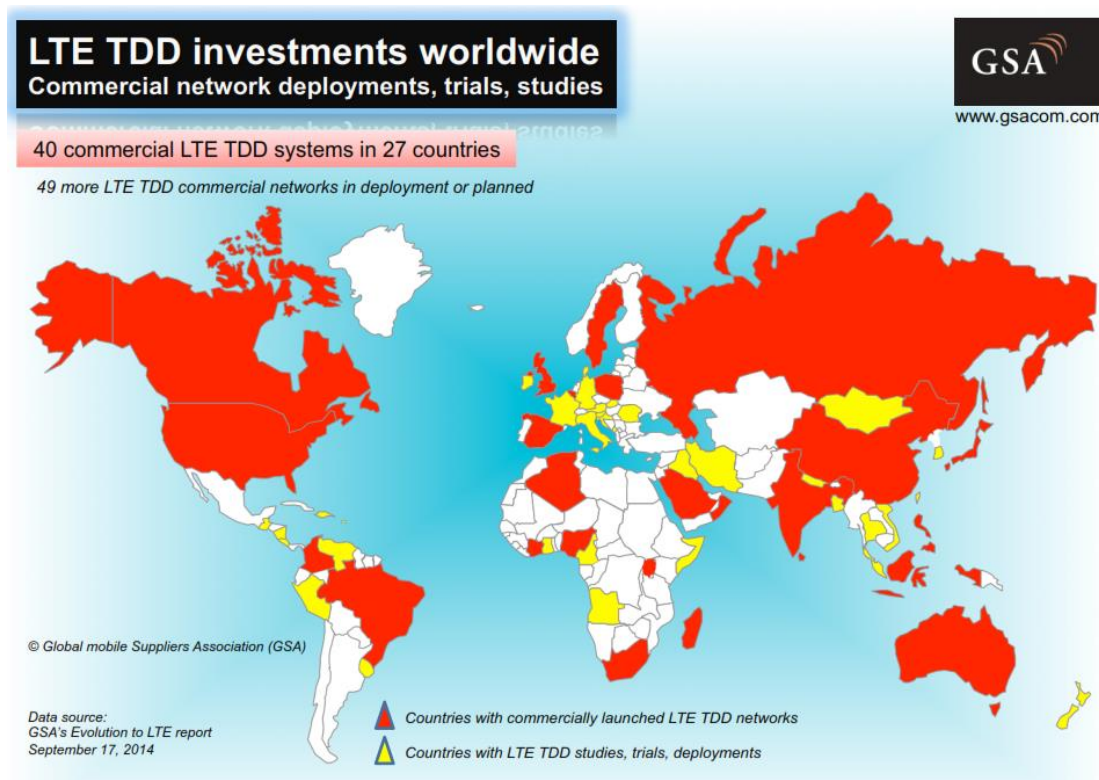


Figura 11: Despliegue Mundial de TDD (Tomada de [12])

Empresas como Qualcomm y Samsung están ofreciendo actualmente mucho soporte a móviles duales de TDD y FDD a través de sus productos debido que los mercados serán una mezcla de ambos esquemas de duplexación. Según cifras de la página gsacom.com publicadas en Septiembre del 2014 Figura 11, la mayor parte del mundo ya posee algún tipo de LTE-TDD en sus implementaciones comerciales, adicionalmente un buen número de países está en proceso de pruebas para implementar TDD-LTE.

En la actualidad, el ecosistema LTE es una realidad, siendo el operador China Mobile Hong Kong con la asistencia de Ericsson los primeros en implementar una red LTE FDD/TDD [22]. Del mismo modo STC (Saudi Telecom Company), el mayor operador de telecomunicaciones en Arabia Saudita, desarrolló su ecosistema LTE. El 15 de Diciembre del 2014 STC en conjunto con Nokia, dió un paso más vanguardista, al demostrar la primera red comercial que permite realizar agregación de portadoras entre LTE FDD y LTE TDD [23].

Este cambio se debe al nuevo paradigma de redes móviles que es crear femto o micro celdas para solventar las demandas de tráfico y es en este punto donde se explotarán los beneficios de TDD-LTE en áreas pequeñas y dejar las implementaciones FDD-LTE para áreas de mayor dimensión a como lo muestra la figura 12 extraída del reporte “LTE TDD- the global solution for unpaired spectrum” de Qualcomm. Sin embargo, este ecosistema hasta el día de hoy ha sido implementado de forma gradual en redes comerciales. [23]

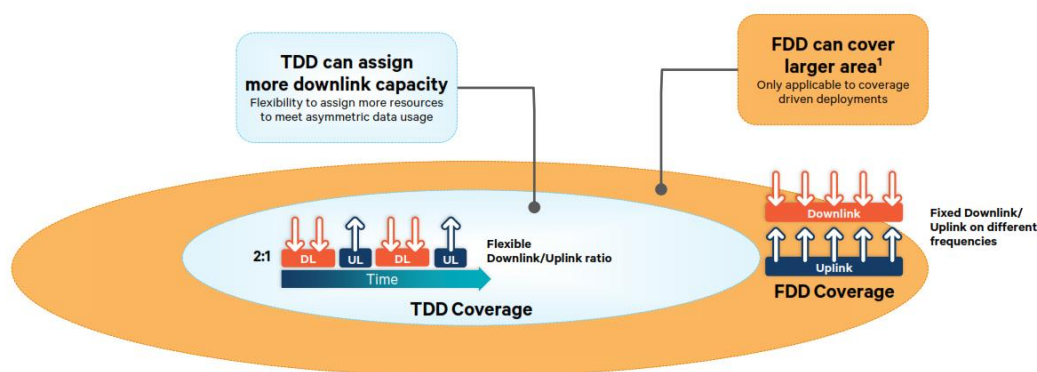


Figura 12: Ecosistema Ideal LTE (Tomada de [23])

2.1.4 Bandas de Frecuencias

Release 8 de las especificaciones 3GPP para LTE incluye 19 bandas de frecuencias para FDD y nueve para TDD. Con la CMR-2000 (“Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2000”), la banda 2500-2690 MHz fue identificada para las IMT-2000 y se identifica como banda 7 en 3GPP para FDD y Banda 38 para la operación TDD. La banda de los 2500 MHz TDD tiene una disposición ligeramente diferente en América del Norte, donde se define una banda específica Band 41 solo para Estados Unidos. La Banda 40 es una banda no pareada especificada para la nueva gama de frecuencias 2300-2400 MHz identificadas para las IMT y tiene una asignación generalizada a nivel mundial.[2]

Como se muestra en la tabla 6 notamos que las bandas más bajas en el espectro son usadas en el uplink debido a que es menos susceptible al efecto dopler y las bandas más altas son usadas en el downlink; por la misma razón al esquema de duplexación TDD se le otorgó la gama alta del espectro radioeléctrico. La tabla 6 es extraída del estándar 3GPP Release 8.

Un aspecto de suma relevancia al momento de diseñar una red móvil, es la asignación de la banda de frecuencia. Lógicamente, cada operador, si se les da una elección, querría desplegar su red con la banda que opera a una frecuencia muy baja, debido a que las pérdidas asociadas con las frecuencias bajas son mucho menos en comparación con las pérdidas de frecuencia más alta. Esta elección de la banda de frecuencia a emplear, tendría un impacto en el tamaño de la celda y, a su vez, la planificación de la cobertura de un operador. Es por esta razón, que en el caso de Nicaragua la banda de los 700 MHz es la más codiciada por los proveedores de servicio locales.

Tabla 6: Bandas de Frecuencia (Tomada de [24])

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	$F_{UL\ low} - F_{UL\ high}$	$F_{DL\ low} - F_{DL\ high}$	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1447.9 MHz	1475.9 MHz – 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
...			
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
...			
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD

2.1.5 Sistemas de Duplexación en LTE

El alto grado de flexibilidad espectral es una de las principales características de la tecnología de acceso de radio conocida como LTE. El propósito de la flexibilidad del Long Term Evolution es permitir su implementación en diferentes bandas de frecuencias, incluyendo diversos esquemas de duplexación y diferente disponibilidad de ancho de banda espectral. [2]

Uno de los puntos remarcables de LTE es la posibilidad de usar el espectro en esquema TDD o FDD y un híbrido de ambos llamado Half-Duplex FDD, a como se muestra en la figura 13.

El esquema TDD en LTE, también conocido como TD-LTE, usa el espectro no pareado que constituye compartir una única banda de frecuencia entre el uplink y downlink, tomando diferentes y no interferentes slots de tiempo. El esquema FDD o pareado, usa un canal de frecuencia para el uplink y otro para el downlink. [2]

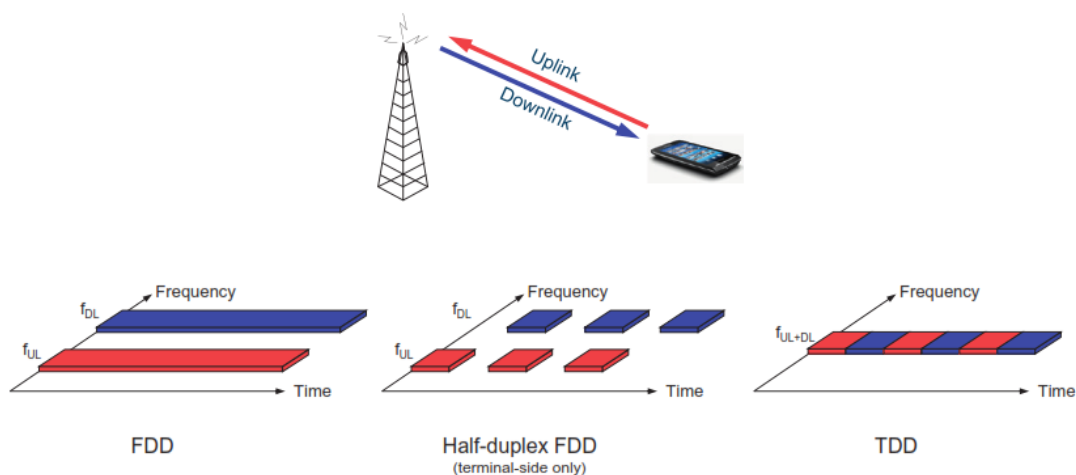


Figura 13: Esquemas de Duplexación en LTE (Tomada de [2])

Mientras que el esquema Half-duplex FDD solo existe desde el punto de vista de recepción del terminal, donde la recepción y transmisión están separados en frecuencia y en tiempo, pero desde el lado del eNode B continua operando el modo full dúplex, solamente usando una programación de recursos diferente. El mayor beneficio del Half-duplex FDD es reducir la complejidad y costo del terminal debido a que se elimina el uso del filtro de duplexación. Esto es completamente ventajoso en el caso de terminales multi-banda, que en el caso contrario de usar Full-duplex FDD requerirían múltiples filtros de duplexación. [2]

LTE soporta cada uno de los esquemas descritos anteriormente. Una célula puede utilizar cualquier esquema de FDD o TDD. Un móvil puede soportar cualquier combinación de dúplex completo FDD, medio dúplex FDD y TDD, aunque sólo se utilice uno de ellos a la vez. [5]

2.1.5.1 Esquema FDD

El esquema FDD en LTE se emplea el principio de dos canales de frecuencia, que desde el punto de vista de software es más sencillo que TDD, esto es debido que el hardware del terminal y eNodeB ya están diseñado para esto, al brindar suficiente banda de guarda para evitar interferencia, en función del filtro de duplexación en ambos lados de la comunicación. A partir de la figura 14 podemos ver como la tecnología LTE define una trama de 10 ms dividida en 10 sub-tramas de 1ms, donde en el caso de FDD se usa cada frecuencia para transmisión o recepción respectivamente, siendo este el caso más simple. [2]

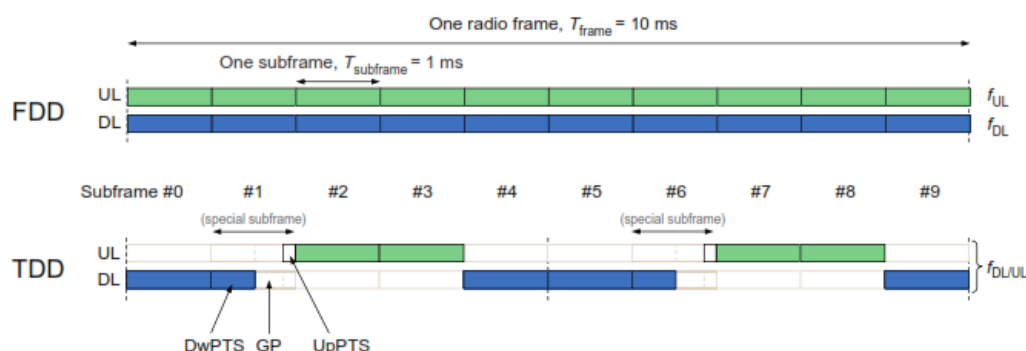


Figura 14: Modelado de Tramas en LTE (Tomada de [2])

Cabe destacar que la capacidad de usar el esquema FDD o Half-duplex FDD está en función del terminal, no del eNodeB, no obstante al usar el esquema half-duplex el eNodeB tiene que crear una programación diferente para proveer conectividad a los cliente Half-duplex FDD, ya que se deben respetar tiempos de guarda, lo cual reducirá la velocidad de conexión del terminal half-duplex debido a la menor recepción de símbolos con información. [2]

2.1.5.2 Esquema TDD

En el caso operativo de TDD-LTE, solo existe una única frecuencia y la transmisión de subida o bajada tienen que ser separadas en el dominio del tiempo a como su muestra en la figura 15. A partir de la figura vemos una trama de 10 ms, separada en tramas de 1 ms. Además podemos observar que algunas tramas son dedicadas para el uplink y otras para el downlink. Mientras que para el proceso de conmutación entre uplink y downlink existe una trama especial para indicar esta función. [2]

Esta trama especial contiene una configuración variable en tres campos a como se muestra en la figura 15 donde:

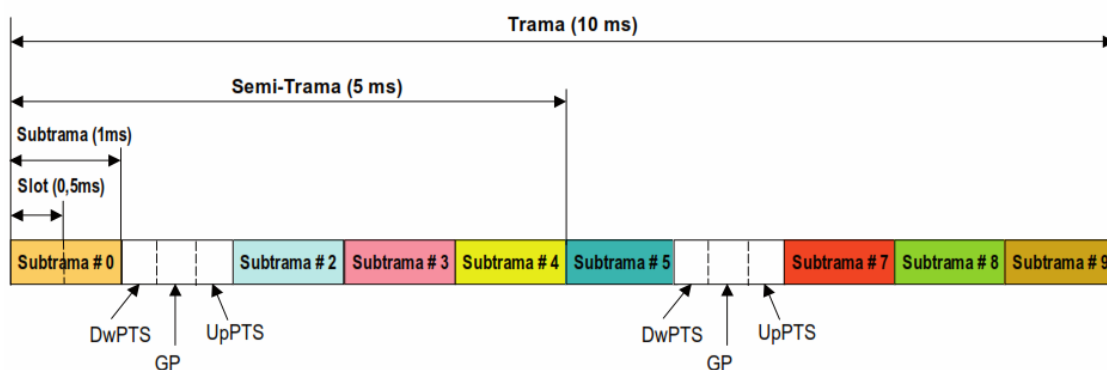


Figura 15: Trama del esquema TDD (Tomada de [25])

- DwPTS: corresponde a la transmisión en el enlace descendente, y cuya longitud mínima es 1 símbolo OFDM. Este primer símbolo OFDM se utiliza para ubicar la denominada señal de sincronización primaria. Los restantes símbolos de este campo (si existen) pueden transportar señales de referencia o incluso datos. [25]
- UpPTS: corresponde a la transmisión en el enlace ascendente. Se utiliza para transmitir un preámbulo corto de acceso aleatorio compuesto por 2 símbolos OFDM. Los restantes símbolos de este campo (si existen) pueden transportar señales de referencia o incluso datos. [25]
- GP: o periodo de guarda. La longitud del mismo depende de los campos anteriores. [25]

Para lograr que el esquema TDD provea comunicación asimétrica, se dedican más tramas a subida o bajada respectivamente según las necesidades de la red, pero el estándar 3GPP ya define siete diferentes configuraciones para el esquema TDD, donde las sub-tramas 0 y 5 siempre son dedicadas para el downlink y la subtrama 2 para el uplink a como se muestra en la figura 16. A partir de este principio es que el esquema TDD posee una gran flexibilidad de asignación de recursos. [2]

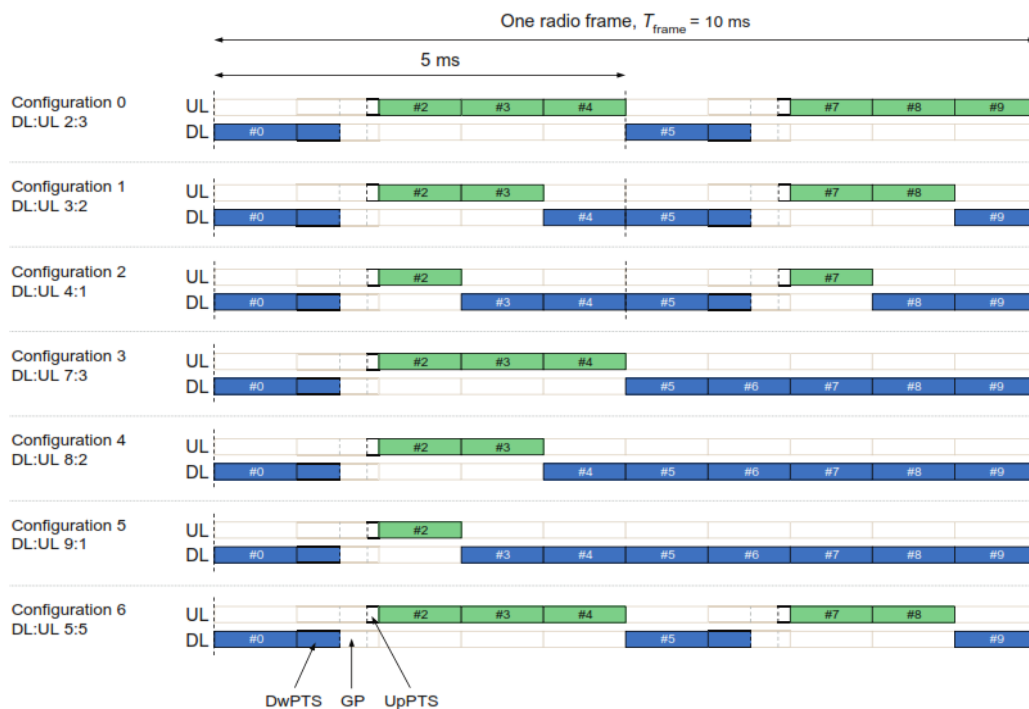


Figura 16: Configuraciones de Tramas TDD (Tomada de [2])

Por el otro lado, este tipo de configuraciones asimétricas poseen una contraparte, que es la interferencia entre downlink y uplink con celdas vecinas, debido que al implementar diversas configuraciones TDD no se usara el mismo espectro frecuencial en todas las celdas, por este motivo se recomienda usar las misma configuración TDD en toda la red. Pero en el caso que se necesiten hacer cambios de configuración debido a las demandas de tráfico, se debe estudiar cuidadosamente la interferencia entre celdas. [2]

De la misma forma el eNode B tiene que garantizar que los tiempos de guarda sean los adecuados para poder realizar la conmutación entre transmisión y recepción. Además de calcular los retardos de propagación, debido que entre más lejos este el terminal del eNodeB, se requieren tiempos de guarda más prolongados. [2]

2.2 Rendimiento de TDD-LTE y FDD-LTE

Para llegar a definir una tecnología, hay que analizar su rendimiento en función de las metas planteadas. Por esta razón usaremos estudios del 3GPP para comparar el rendimiento de los esquemas de duplexación TDD y FDD en LTE.

Por medio de un estudio de factibilidad del 3GPP [26] demostramos que LTE cumple con los requerimientos de ITU. Este experimento se valió de usar un alojamiento espectral de 20 MHz, configuración 4x4 (spatial mutitplexing) en el Release 8 y configuración 8x8 (spatial multiplexing) en el Release 10.

Tabla 7: Rendimiento de LTE

Eficiencia Espectral Pico	Requerimientos ITU (bits/s/Hz)	Resultados LTE			
		Release 8		Release 10	
		FDD	TDD	FDD	TDD
Downlink	15	15.3	15.0	30.6	30.0
Uplink	6.75	4.2	4.0	16.8	16.0
Latencia (ms)	10	4	4.9	4	4.9

A partir de los resultados expuestos en la tabla 7 podemos constatar que desde la perspectiva técnica, ambos sistemas de duplexación poseen un desempeño espectral muy eficiente. La diferencia entre ambos esquemas en el

Release 8 es de apenas 0.3 bits/s/Hz, por lo cual se pudiese decir que son iguales.

Por otra parte, en el plano de la latencia para esta prueba se define la latencia en solo un sentido de comunicación, no un round trip [2]. Según los resultados FDD es un poco superior a su contraparte TDD, debido que el esquema FDD presenta un 0.9 milisegundo de ventaja. Desde el punto de vista de un usuario en una aplicación de tiempo real como streaming, este casi mili segundo marca una diferencia significativa.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Descripción de los escenarios

Nuestro estudio está enfocado en una plataforma de migración para la empresa Yota de Nicaragua, mediante dos simulaciones. La primera simulación consiste en una red WiMAX usando los parámetros facilitados por el departamento de RF de Yota de Nicaragua. Tomamos como muestra dos puntos al azar, uno cercano y otro lejano al foco de cobertura para brindar al lector una comparación entre nuestra simulación y la red desplegada luego de realizar las pruebas de campo. De la misma forma proponemos un diseño de red LTE a desplegar.

A continuación enumeramos los escenarios:

3.2 WiMAX

En el escenario 1, se simula una red WiMAX muy similar a la desplegada en el departamento de Masaya por la empresa Yota de Nicaragua. Además realizamos un drive test para corroborar que la simulación muestra una aproximación muy cercana a las variables reales de campo, considerando los siguientes parámetros: CINR (Carrier to Interference+Noise Ratio), RSSI (Received Signal Strength Indicator) y Preamble Index a través de la herramienta Point Analysis Tool que ofrece Atoll™, esto parámetros nos permiten comparar los resultados de la simulación de la red WiMAX con respecto a los resultados obtenidos en el Drive Test.

3.3 LTE

En el escenario 2 de simulación, ejecutamos la propuesta de diseño de una red LTE para la ciudad de Masaya haciendo la reutilización de algunos valores y parámetros que actualmente son utilizados en la red desplegada por YOTA de Nicaragua. En este apartado hacemos una comparación entre los sistemas de duplexación que establece el estándar LTE Release 8.

3.4 Elección de Atoll™

Atoll™ es una plataforma de 64 bits de diseño y optimización de redes inalámbricas de multi-tecnologías creado por la empresa francesa FORSK en 1997, desde entonces ha sido líder mundial en ambientes de simulación para la

planeación de radio y optimización de redes. Hoy en día, FORSK es un suplidor global con más de 450 clientes en 115 países y posee alianzas estratégicas con los mayores implicados en la industria. En el año 2008 fue el primer software de planificación de radio disponible con soporte para la tecnología LTE. Entre las tecnologías que el software permite utilizar, se encuentran GSM, CDMA, HSPDA, WiMAX, UMTS y LTE. [27]

El desarrollo actual de las tecnologías de comunicaciones móviles hace imprescindible el uso de herramientas de simulación predictivas que en definitiva permitan abaratar costos de diseño, así como mejorar la calidad y rendimiento. Con el fin, de dar una idea aproximada como punto de partida para el despliegue de redes celulares.

Para las simulaciones de WiMAX y LTE en este trabajo monográfico utilizaremos el software de planificación y optimización de radiofrecuencia Atoll™ en su versión 2.8.0. Es una aplicación con un entorno gráfico para la planeación de entornos de radio propagación. Es especialmente útil para compañías de telecomunicaciones que deben diseñar entornos inalámbricos incluyendo su ciclo de vida completo, esto es, partiendo de un diseño inicial, ampliándolo y optimizando el mismo. [27]

3.5 Configuración de Atoll™

Con el propósito de manipular y configurar el software Atoll™ de manera eficiente, es necesario dominar los parámetros técnicos más importantes de la tecnología a diseñar. Además de conocer la terminología usada en la herramienta de predicción, debido a esta razón describiremos algunos de los términos más significativos para familiarizar al lector. [13]

- Sectors: se trata del número de sectores que tendrá cada celda. Un sector es una parte del total de la celda, que trabaja a una frecuencia específica y diferente a la del resto de sectores de esa celda para evitar interferencias.
- Antenna: se trata de la antena a utilizar. Esta permite el envío y recepción de ondas electromagnéticas.
- Tower Mounted Amplifier (TMA): se trata de un amplificador de bajo ruido.

- Feeder: se trata del cable que conecta el TMA con la antena.
- Frequency band: se trata de la banda de frecuencias disponibles para dar servicio en la red.
- Channel width: se trata de la canalización, es decir, es el bloque frecuencial con el que se divide la banda de frecuencias para crear un número determinado de canales.
- Adjacent channel supression factor: es la cantidad de decibelios que se atenúa el canal adyacente.
- Sampling frequency: se trata de la frecuencia a la que se muestrean los datos.
- Radio Bearer (RB): un esquema de modulación/codificación (MCS) usado para transmitir los datos a través del canal.
- Bearer Selection Thresholds: se trata de los umbrales de selección de RB. Un Radio Bearer particular es seleccionado para la transferencia de datos en un determinado píxel si la relación $C/(I+N)$ para dicho píxel es superior al valor del umbral de selección que hace referencia.
- Traffic Loads: se trata de las cargas de tráfico. Son porcentajes de las tramas uplink y downlink asignadas para el tráfico ascendente y descendente respectivamente.
- Max traffic load: se trata de la carga de tráfico máxima. Es el tráfico en el enlace descendente o ascendente que no puede ser excedido. Este límite es tomado en cuenta durante las simulaciones de Monte Carlo. Si el tráfico de la celda está limitado por este valor, entonces la celda no podrá tener una carga de tráfico superior a este máximo.
- Propagation model: se trata de un conjunto de expresiones matemáticas y algoritmos usados para representar las características radio de un ambiente dado. Pueden ser empíricos, teóricos o una combinación de estos dos.
- Scheduler: es el encargado de efectuar la selección de usuarios para la asignación de recursos y su administración según las clases de calidad de servicio (QoS) de los servicios que estén siendo usados por los usuarios elegidos.

- Site: se trata de un emplazamiento, es decir, el punto geográfico donde está situada la estación base.
- Transmitter: se trata de un transmisor. Hace referencia a las características físicas de los equipos de transmisión y recepción de la estación base.
- Cell: se trata de una celda. Hace referencia a las características radio de la estación base de acuerdo al estándar utilizado.
- Computation Zone: se trata de la zona de cálculo definida por el usuario. Es usada para definir el área donde Atoll™ realizará los cálculos. A la hora de efectuar los cálculos, Atoll™, considera las estaciones bases, tanto externas como internas a la zona de cálculo, siempre y cuando estas afecten los resultados dentro de la zona.
- C/N: se trata de un indicador de la calidad de la señal recibida que relaciona el nivel de potencia de señal útil con el nivel de potencia de ruido, generalmente en escala logarítmica (decibelios).
- C/(I+N): se trata de un indicador de la calidad de la señal recibida que relaciona el nivel de potencia de señal útil con el nivel de potencia de ruido y el nivel de potencia de las señales interferentes, generalmente en escala logarítmica (decibelios).
- Services: se trata del tipo de servicio que puede contratar un usuario, como por ejemplo voz o datos.
- Servers: se trata del número de transmisores que dan señal a una zona determinada. Estos pueden ser interferentes.
- Simulaciones de Monte Carlo: es un método estadístico numérico, usado para aproximar expresiones matemáticas complejas y costosas de evaluar con exactitud. Atoll™ utiliza este algoritmo para generar la distribución de usuarios para cada simulación.
- Shadowing: se trata de la desviación de la atenuación del desvanecimiento que afecta a una señal radio en determinados medios de propagación. Puede ser debido a la propagación por múltiples caminos o a la sombra producida por obstáculos que afectan a la propagación de la onda.

- Path loss: se trata de la reducción de densidad de potencia (atenuación) de una onda electromagnética en un punto.
- Link budget: se trata de la máxima atenuación permitida, es decir, del path loss máximo que se puede tener. Esto determinará el tamaño de una celda.
- Enlace ascendente (UL): hace referencia al canal radio establecido entre el usuario y la estación base en esta dirección.
- Enlace descendente (DL): hace referencia al canal radio establecido entre la estación base y el usuario en esta dirección.
- Throughput: es la tasa a la que se entrega, con éxito, los mensajes sobre un canal de comunicación.
- Clutter Class: se trata de un mapa que muestra los diferentes tipos de zona que se componen la zona total, como por ejemplo, si es zona rural, bosque, zona urbana, etc.
- Clutter Height: se trata de un mapa que se superpone al mapa de altimetría y que define la altura de los edificios de una zona del Clutter Class.

El software Atoll™ propone algoritmos para realizar el diseño de redes inalámbricas. A manera de ejemplificación usaremos el algoritmo perteneciente al estándar LTE, debido a ser nuestro mayor foco de estudio. Dicho algoritmo fue usado para realizar el estudio y algunas simulaciones del presente trabajo.

Es importante entender que dicho algoritmo contempla la elaboración completa de un diseño de red. Pero cabe destacar que el proceso de optimización de una red es un procedimiento constante e involucra mucha información extra sobre el comportamiento de la red. Del mismo modo para realizar un despliegue de red eficiente, se deben realizar procesos posteriores de optimización como drive test, para verificar el correcto funcionamiento de la red y administrar un proceso constante de tuning. Es por esto que nuestro trabajo se limita al proceso de radio planning configurando parámetros básicos y usando algunos otros por defecto para poder obtener una posible aproximación de una red comercial.

Elección de Plantilla de Tecnología

El primer paso para crear una red usando el software Atoll™ de la empresa Forsk, es configurar que tipo de tecnología se implementará, para ello el software presenta plantillas para diversas tecnologías soportadas. Esto se realiza en la pestaña **File >New>From a Document Template**.

Donde la figura 17 presenta las tecnologías soportadas por Atoll™ en su versión 2.8.0. Para nuestro estudio seleccionaremos LTE, al ser la tecnología que se pretende migrar por la empresa Yota de Nicaragua. No obstante, esto no limita realizar configuraciones manuales para cada tecnología soportada; pero el uso de plantillas brinda parámetros relacionados a cada tipo de red de acceso como: bandas de frecuencias, antenas, configuraciones de red, entre otros; que facilitarán las configuraciones del proyecto.

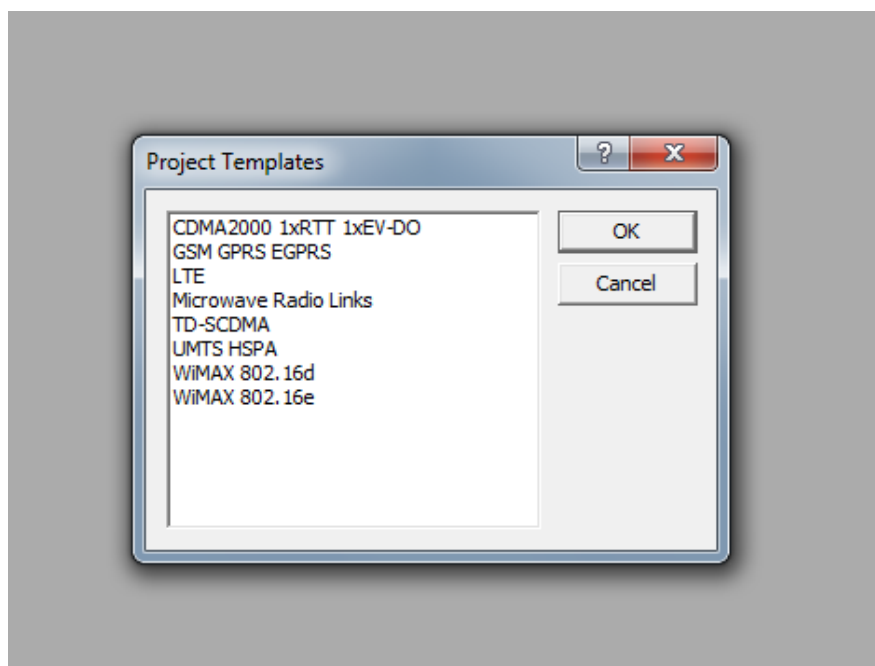


Figura 17: Plantilla de Tecnologías en Atoll™

Configuración de Opciones de Coordenadas

La herramienta de planeación de redes Atoll™, puede ser usada en cualquier parte del mundo; por tal motivo permite un número diverso de configuración de coordenadas de geo-referencia. Para nuestra región de Nicaragua se usó la WGS 84 UTM Zones, esto se configura desde **la pestaña Tools> Options**. La configuración para nuestra zona geográfica en particular y nuestras necesidades es la siguiente como se muestra en la figura 18:

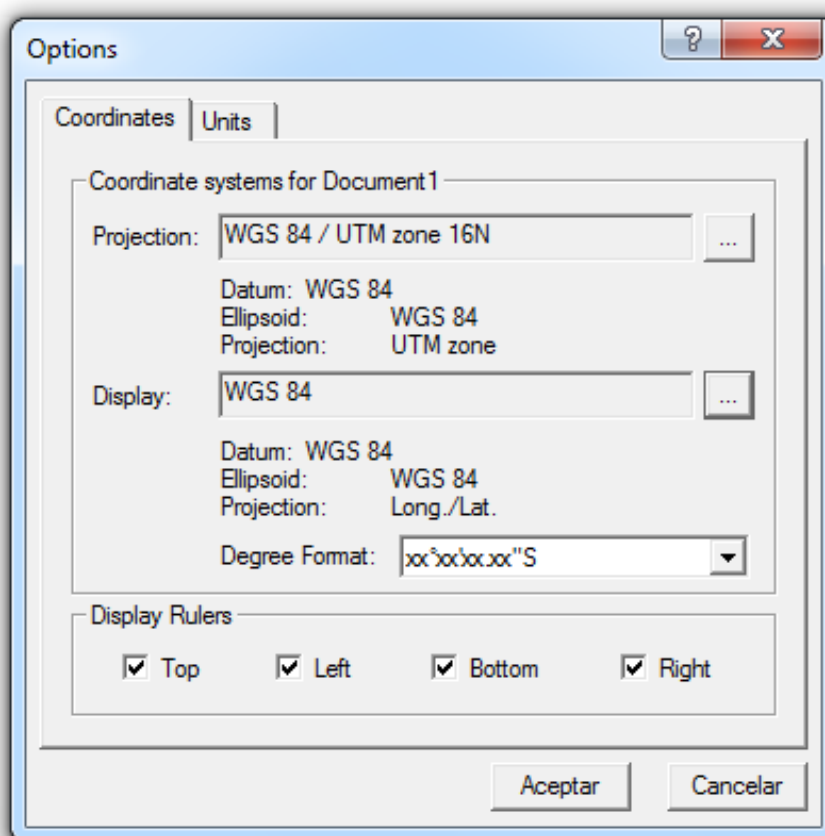


Figura 18: Configuración de Coordenadas

Importación de Mapas Digitales

La herramienta de simulación Atoll™, (para poder obtener resultados fidedignos), hace uso de mapas digitales de elevación (Digital Elevation Models - DEM), los cuales son una representación visual y matemática de valores de elevación sobre el nivel del mar, que permite caracterizar el relieve y los accidentes geográficos de la zona. Dichos mapas son desarrollados por software especializados para esta tarea y representados por archivos digitales. Tales mapas son de vital importancia ya que aportan información necesaria para hacer los cálculos de la difracción en los modelos de propagación.

Para nuestro proyecto en particular los mapas digitales de Nicaragua fueron facilitados por nuestra universidad, para el desarrollo de este proyecto investigativo. Dicha información fue importada al software usando varios archivos, que entre ellos incluían información sobre los cuerpos de agua, calles principales, entre otros. Dentro del software para invocar estos archivos se busca la pestaña **File > Import** para encontrar la ubicación de tales archivos dentro del directorio en la computadora como se muestra en la figura 19.

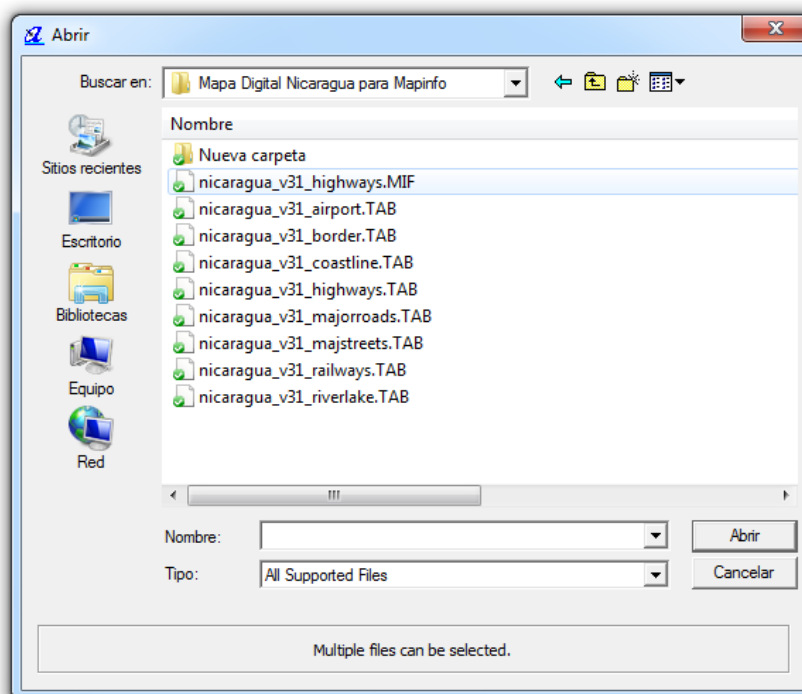


Figura 19: Importación de Mapas

Configuración de Importación

La interfaz del software Atoll™ 2.8.0 posee la ventana llamada “Explorer” donde se pueden verificar y configurar todas las opciones de la red, desde su modelo de propagación, mapas digitales y demás parámetros técnicos a considerar en el diseño, por medio de un directorio raíz desplegable muy parecido al del entorno gráfico del sistema operativo Windows; igualmente haciendo uso del “*click derecho*” para mostrar parámetros adicionales referentes a la opción seleccionada.

El software Atoll™ permite la configuración de parámetros de red de forma manual, no obstante en redes de grandes dimensiones, el proceso de configuración manual se vuelve tedioso y repetitivo. Por esta razón, la herramienta permite importar la información de red desde archivos de extensión .txt y .csv obedeciendo algunas directrices de compatibilidad. Además, Atoll™ guarda su información de configuración en tablas, definiendo un campo de la tabla a cada variable de la tecnología en cuestión. Por esta razón nosotros recomendamos usar una hoja de cálculo de Microsoft Excel con los mismos campos de las tablas de configuración.

En el manual del software de Atoll™ se presentan otros métodos para realizar las mismas funciones, pero en base a nuestra experiencia con esta herramienta recomendamos el presente método. Esta sugerencia se debe a que en una hoja de cálculo de Excel se puede modificar, ordenar, filtrar y visualizar la información fácilmente, por medio de opciones como el copiar y pegar, filtros entre otros.

El primer paso es obtener los campos requerido para crear un sitio en el software. La información corresponde a la tabla “**Sites**” que se puede encontrar desde la ventana **Explorer>Data>Sites>Click Derecho>OpenTable** como se muestra en la figura 20.

A manera de ejemplificación de nuestro método de trabajo, usaremos la información de un sitio aleatorio.

Document1: Sites							
	Name	X	Y	Altitude (m)	Comments	Pylon Height (m)	Support Type
*							

Figura 20: Ventana de Sitios

F8	:	X	✓	fx			
	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Comments	Pylon Height (m)	Support Type
2	Prueba	81°5'56"W	16°55'33.9"N	[0]	Zona1	50	<Undefined>
3							
4							

Figura 21: Campos de Sitios

Luego recomendamos hacer uso del mapeo de los campos y copiar para luego pegar en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, como se muestra en la figura 21. Posteriormente en función de los campos se puede comenzar a ingresar todos los sitios necesarios para el proyecto. En nuestro ejemplo hemos usado un sitio aleatorio, donde definimos el nombre que se le otorga al sitio, la geo-referencia según el formato de coordenadas y comentarios adicionales.

Es de esperar que los valores “Name, Longitude y Latitude” sean llenados a como corresponde, sin embargo los valores “Altitude, Pylon Height y Support Type” en nuestro trabajo, fueron dejados en valores predeterminados por el software. La única opción no indispensable configurada fue “Comments” donde se introdujo información extra del sitio que puede ser usada para efectos de filtros cuando existen un número elevado de sitios.

Luego de haber llenado toda la información necesaria, recomendamos hacer uso de la opción **guardar como** en MS Excel y cambiar el tipo de archivo a **CSV (delimitado por comas) (*.csv)**, debido que el formato .csv es soportado por Atoll™ para el importe de información. En este trabajo se optó por el método de hojas de cálculo en MS Excel con el formato .csv, debido a su facilidad de modificación y visualización. Sin embargo, existe el método de importación con archivos de formato .txt, pero este método lo consideramos muy tedioso.

Para importar la información alojada en el archivo .csv, se abrirá desde Atoll™ la tabla de “**Sites**” y desde esta ventana se hará **click derecho>Import** y se procederá a cambiar el tipo de archivo de entrada a **.csv**. Luego se busca en el directorio pertinente el archivo que se desea importar. Posteriormente se muestra la ventana ilustrada en la figura 22. Dicha ventana debe mostrar todos los sitios propuestos y es de vital importancia que los campos de la fila “**Source**” y “**Destination**” coincidan, de lo contrario la importación no será exitosa.

Otro aspecto de importancia, es que algunos archivos importables no están ordenados en espacio de filas y columnas, sino a través de un “;”(punto y coma) es por esta razón que existe la opción “**Field Separator**” donde se configura el método de ordenamiento de entrada. Pero recalcamos que para la exitosa importación, los campos “**Source**” y “**Destination**” tienen que coincidir en su totalidad, a como se expone en la figura 22 .Para otras opciones de importación consultar [28]

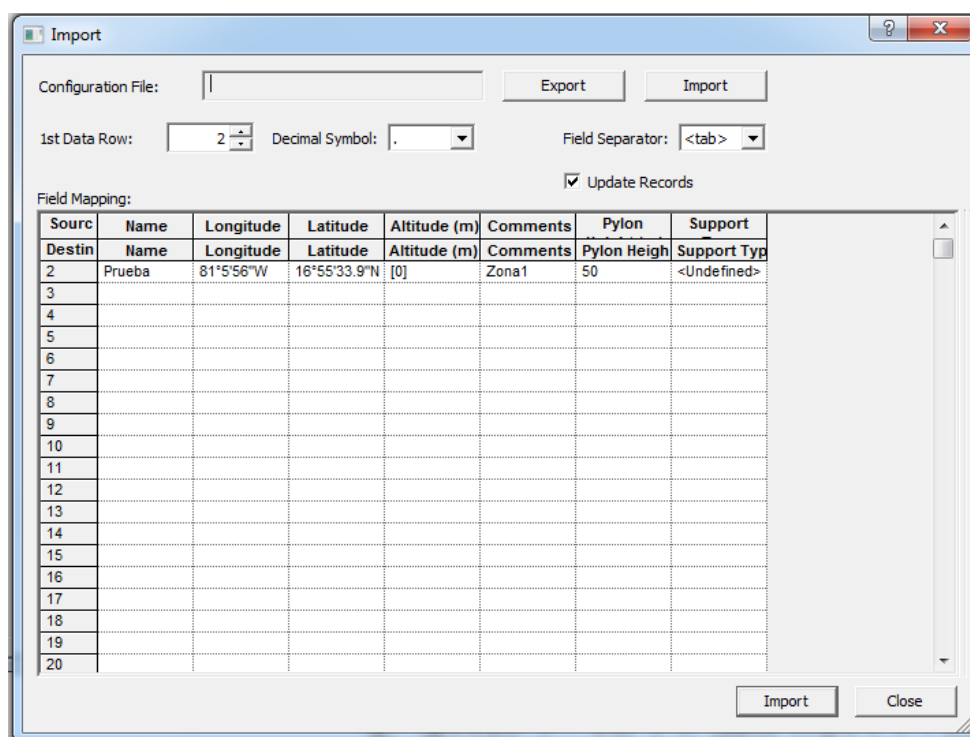


Figura 22: Importación de Sitios

Finalmente solo se hace click en “**Import**” para transferir la información al software. Este mismo principio de operación de importación será válido para la configuración de las Antenas, Transmisores y Celdas durante este proyecto. Se recomienda guardar la hoja de cálculo de MS Excel para futuras modificaciones a la red o como respaldo de configuración.

Ubicación de Sitos

La ubicación de sitios representa el uso de geo-referencia para poder ser mostrado en el software. El tipo de coordenadas compatibles con Atoll™ ya se modificó en el apartado de configuración de opciones de coordenadas. El único proceso para su importación es respetar dicho formato de geo-referencia y suministrar el archivo con toda la información de los sitios necesarios. A través de **Data>Sites>Open Table>Click Derecho>Import>Seleccionar Archivo .csv>Import**.

Importación de Antenas

La herramienta de planeación Atoll™, en su ventana “**explorer**” posee un directorio llamado “**antennas**”, dicho elemento almacena las características de los transmisores que estarán disponible para el proyecto a desarrollar. Por defecto, este contiene un número de transmisores disponibles de diversas características. Sin embargo, este número de transmisores no se ajusta a cada diseño de red. Por este motivo Atoll, permite importar otros transmisores, en función de sus características como: ganancia, patrón de radiación vertical, patrón de radiación horizontal, frecuencia mínima de operación, frecuencia máxima de operación entre otros.

Esta información de los transmisores normalmente es suministrada por los fabricantes. En nuestro trabajo hicimos uso del sitio web www.commscope.com, donde se puede encontrar un catálogo de transmisores disponibles y permite descargar la información de ellos, para ser alojados en Atoll™. Dicho website permite obtener un archivo en formato **.csv** con toda la información de un modelo de antena seleccionado.

Luego de descargar el archivo de la antena se recomienda realizar un proceso de filtrado, debido que los modelos de transmisores traen consigo mucha información adicional, en función de todas las bandas de frecuencias, tilts eléctricos, ganancias soportadas por la antena. Además Atoll™ no permite más de veinte tipos de antenas en una única importación. Por esta razón recomendamos, filtrar solo las antenas que se usarán en su diseño.

Luego de filtrar el archivo **.csv** se procede a importarlo. Atoll™ a través del manual recomienda ciertos métodos; nosotros recomendamos usar **Data>Antennas>ClickDerecho>OpenTable**. Posteriormente desde la tabla de referencia de antenas hacer **ClickDerecho>Import>Seleccionar Archivo.csv>Import**. Es de vital importancia siempre configurar el campo **Field Separator** y verificar que las entradas **Source y Destination** sean las mismas. Para una correcta importación de antenas la ventana tendría que lucir como la figura 23.

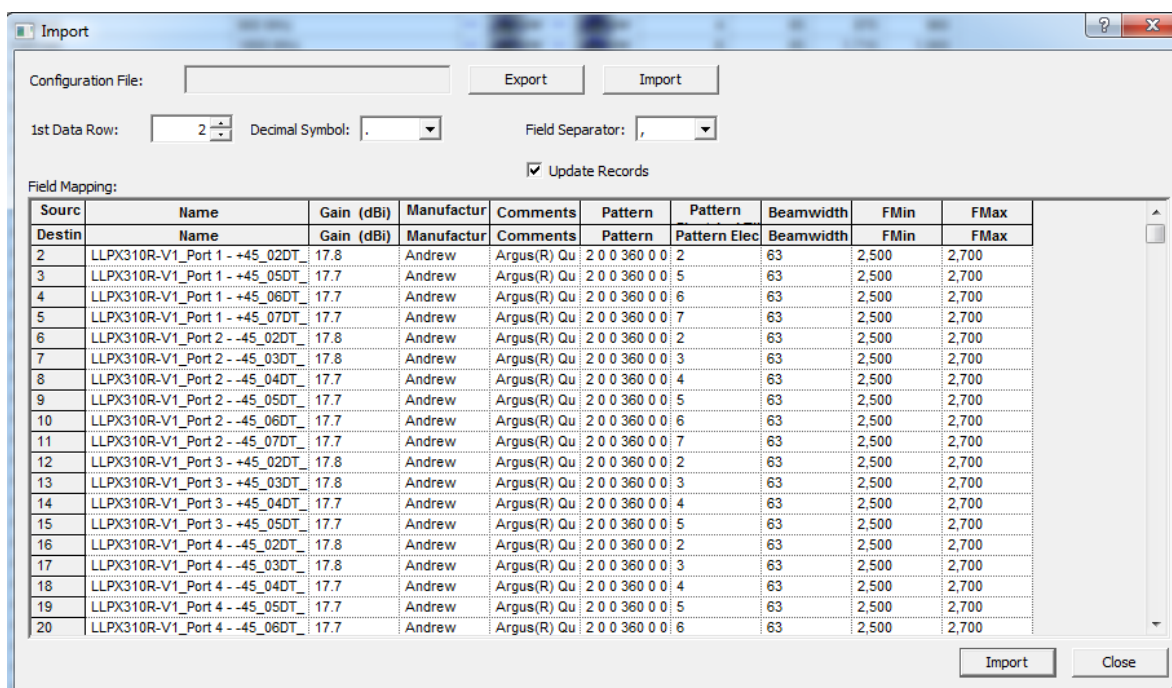


Figura 23: Importación de Antenas

Configuración de Transmisores

En las redes celulares normalmente se usa un arreglo de transmisores para cubrir una área de 360°. A partir de esto Atoll™ permite la configuración de un número de transmisores en un mismo sitio según el diseñador. En esta opción se puede ajustar una cantidad de parámetros técnicos según la necesidad de la red; dentro de los principales parámetros configurados están: tipo de antena, azimuth, modelo de propagación entre otros.

Nosotros recomendamos usar el método de importación explicado en el apartado de configuración de importación, solamente teniendo en consideración que los campos ahora serán extraídos de **Data>Transmitters>ClickDerecho>OpenTable** y todos los valores serán alojados en la tabla **Transmitters**. Cabe destacar que no es necesario que todos los campos sean llenados, ya que algunos son para configuraciones más detalladas. De la misma manera este proceso se puede hacer manual desde **Data>Transmitters>ClickDerecho>New**, creando transmisores de manera individual.

Configuraciones de Celdas

Para que el software pueda crear las primeras simulaciones es imperativo configurar las celdas, que es donde se definen parámetros tan importantes como la frecuencia de operación, potencia de transmisión, entre otros. Al igual que en el caso de los transmisores, existen muchos campos que se pueden configurar, pero no todos son necesarios, esto estará en función de la red que se pretende diseñar. De la misma manera recomendamos usar el método de importación en el apartado de configuración de importación. Siempre teniendo en consideración que la tabla que se debe de llenar está ubicada en **Data>Transmitters>ClickDerecho>Cells>OpenTable**.

Configuraciones de Red

Las configuraciones de red estarán siempre en función de la tecnología que se pretende simular, debido que sus características son diferentes. Por esta razón no hacemos hincapié mucho en estos aspectos ya que son específicos de cada estándar. Por ejemplo en una plantilla LTE, se pueden configurar LTE Bearers, Quality Indicators, Physical IDs, por el otro lado en WiMAX existen las opciones Preamble index, WiMAX Bearers etc. No obstante, para obtener una simulación adecuada se recomienda prestar atención a estas configuraciones de red. Un aspecto de extrema relevancia que se configura en esta sección es la banda de operación; Atoll™ de manera predeterminada posee bandas de frecuencias, pero perfectamente se puede agregar una banda que no se encuentre dentro de las propuestas por el software. Para acceder a estas opciones se usa **Data>Transmitters>ClickDerecho>NetworkSettings**.

Otro aspecto de consideración son los parámetros de red, que de la misma forma son específicos para cada tecnología a simular. Estos parámetros siempre se encontraran en la ventana **Data** y son influyentes al momento de generar predicciones.

3.5.1 Predicciones

El software Atoll™ permite hacer dos tipos de predicción de cobertura, unas que permiten analizar los niveles de señal y otras que permiten analizar la calidad de la señal. El primer tipo solo se basan en predicciones de señal, mientras que el segundo tipo dependen de las condiciones de carga de la red y de las interferencias. A manera de ejemplo hemos usado la tabla 8 para entender las predicciones del software, además la figura 24 muestra una predicción por Coverage by C/(I+N) Level (DL), en una locación aleatoria delimitado a una zona específica, por medio de una computation zone.[13]

Tabla 8: Predicciones Atoll™ (Tomado de [13])

Nombre	Dependencia del trafico	Descripción
Coverage by Transmitter	No	Permite predecir el área de cobertura de un transmisor analizando el mejor transmisor en cada pixel del mapa
Coverage by Signal Level	No	Permite predecir las zonas de cobertura por la intensidad de la señal del transmisor en cada pixel del mapa
Overlapping Zones	No	Permite calcular las zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores
Effective Signal Analysis (DL) Effective Signal Analysis (UL)	No	Permite analizar el nivel de señal de distintos tipos de señales LTE tanto en DL como en UL
Coverage by C/(I+N) Level (DL) Coverage by C/(I+N) Level (UL)	Si	Permite analizar los nivel de interferencia y de portadora a interferencia y ruido
Coverage by Best Bearer (DL) Coverage by Best Bearer (UL)	Si	Permite calcular y mostrar los mejores servicios portadores de radio bearers disponibles basándose en C/(I+N) en cada pixel
Coverage by Throughput (DL) Coverage by Throughput (UL)	Si	Permite calcular y mostrar niveles de throughput en cada pixel del mapa, tanto en el DL como en el UL
Coverage by Quality Indicator (DL) Coverage by Quality Indicator (UL)	Si	Permite calcular y mostrar la probabilidad de error de bloques (BLER) en cada pixel del mapa

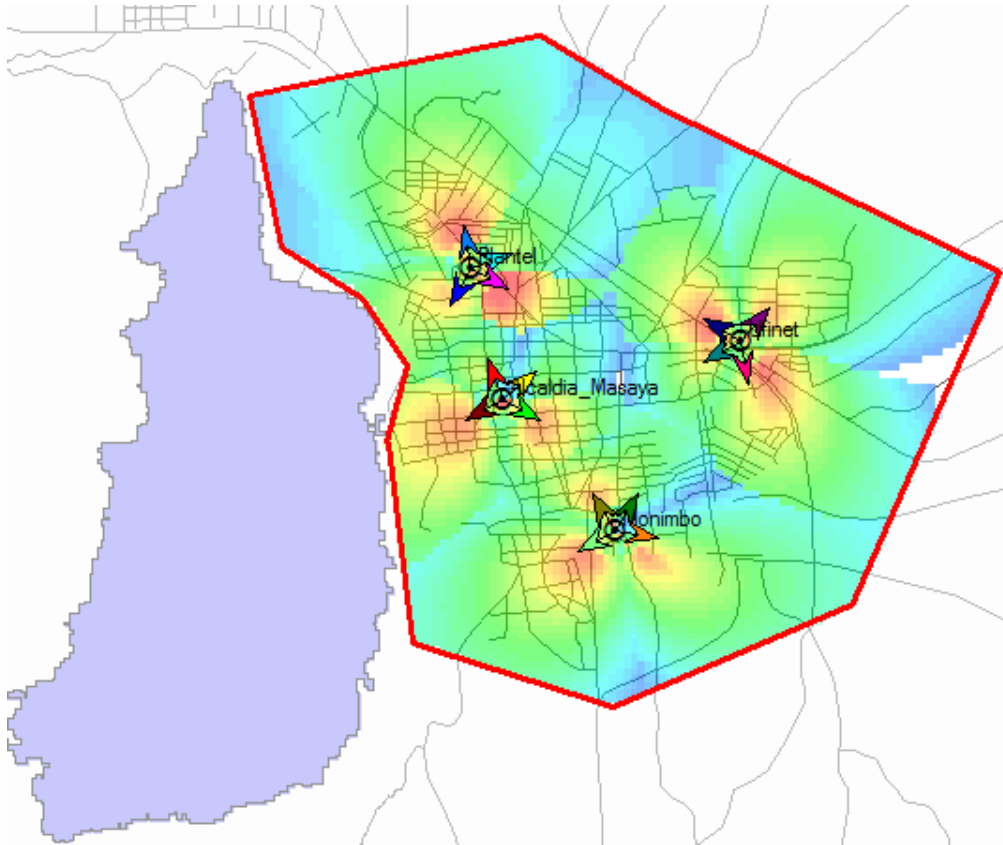


Figura 24: Ejemplo de Predicción por CINR

3.5.2 Simulación

La herramienta Atoll™ permite realizar simulaciones de carga de tráfico, para así obtener aproximaciones de la red en dependencia de la capacidad y cobertura. Para esta función utiliza el algoritmo de Monte-Carlo para generar condiciones aleatorias de distribución de usuarios, carga de tráfico en un sitio o en un transmisor, entre otros posibles parámetros que se pueden analizar de la simulación.

El software se basa en mapas de tráfico, que son configurados por el usuario. Estos mapas de tráfico pueden estar en función de la densidad poblacional, perfiles de usuarios, movilidad de usuarios, entre otros. Además aleatoriamente se asignan dinámicamente locaciones geográficas, tipo de servicio usado y movilidad a cada terminal para generar la simulación. [29]

De forma general los resultados obtenidos de esta simulación se basan en análisis de throughput y de cantidad de usuarios activos y rechazados. Esta herramienta es de suma utilidad ya que genera reportes muy detallados sobre throughput disponibles por sitio, transmisor, por servicio entre otros. Para

mayor información consultar [29]. El software realiza toda la simulación por medio del algoritmo mostrado en el anexo C.

3.6 Pruebas de Campo

En la industria de las comunicaciones móviles con el propósito de obtener pruebas de campo de las redes desplegadas, la técnica más usada en el mundo es el Drive Test, que es un examen efectuado en las redes celulares, independientemente de su tecnología (GSM, CDMA, UMTS, LTE, etc...). Como medio para recoger datos en tiempo real del funcionamiento y desempeño de la red desplegada. Su nombre es intuitivo ya que la traducción al español de drive test es, un recorrido de prueba. [30]

El principal objetivo de la prueba de campo es recopilar datos en tiempo real, que puedan ser analizados. Durante la prueba lo que permite, es una vista del rendimiento de la red en el campo. Los datos de todos los equipos se agrupan por el software de recogida y almacenados en uno o más archivos de salida. [30]

Los elementos más importantes para realizar un drive test son:

- PC (Portátil): Permite el uso del software de recogida de datos y almacena la información recolectada.
- GPS: recogida de los datos de latitud y longitud de los datos de cada punto / medida, tiempo, velocidad, etc. También es útil como una guía para implementar las rutas correctas.
- MS (Mobile Station): equipo para recolección de datos móviles, tales como intensidad de la señal, en el mejor servidor, etc.
- Scanner (Opcional) recoge datos a través de la red, ya que el teléfono móvil es limitado y no maneja todos los datos necesarios para un análisis más completo.

Según las necesidades de cada empresa operadora existen diversos tipos de drive test, donde los principales son:

- Análisis de rendimiento

- La integración de nuevos sitios y cambiar los parámetros de los ya existentes
- Mercadeo
- Benchmarking

3.6.1 Drive Test

Para llevar a cabo nuestra prueba de campo, se realizó un drive test con los siguientes elementos:

1. Una portátil - o hardware similar
2. Un inversor de energía (para alimentación de laptop)
3. Software de recolección de datos instalado en la portátil
4. Dongle – (Clave de seguridad del software, Yota Icon)
5. un GPS

El escáner es el dispositivo ideal para realizar pruebas de campo debido a que permite capturar mayor cantidad de información en el proceso del Drive Test. No obstante Yota de Nicaragua no posee este hardware y por tal razón no fue utilizado.

La coordinación del Drive Test se realizó de la siguiente manera:

Tabla 9: Cronograma de Drive Test

Nº	Actividad	Fecha	Duración
1	Reunión de coordinación	Miércoles 29 de Abril	1 hora
2	Drive Test	Jueves 30 de Abril	3 horas
3	Análisis de los resultados	Lunes 4 de Mayo	3 días
4	Entrega de Reporte	Jueves 14 de Mayo	1 hora

Para su realización la empresa Yota de Nicaragua facilitó todo el equipamiento (hardware y software) y el acompañamiento del personal de RF para llevar a cabo las mediciones. El primer paso fue la elaboración de la ruta y la delimitación de la zona de interés, para nuestro estudio el personal técnico de Yota estableció la ruta a lo largo de la zona urbana de Masaya para confirmar los datos obtenidos en las simulaciones de la red WiMAX.

Para la prueba de campo nos reunimos a las 9 A.M con el personal técnico en las instalaciones centrales de Yota de Nicaragua para dirigimos al primer sitio donde estaba trazado el recorrido. La prueba tuvo inicio en la estación Base Plantel para concluir en la estación Monimbo, el recorrido duró aproximadamente tres horas sin interrupciones. El software utilizado para la recolección de datos fue el OPTis-WX Analyzer. Utilizamos un dongle Yota ICON como dispositivo de recepción, GPS Receiver BU-353, y una velocidad de promedio de 40 km/h, de lo contrario una velocidad superior produce que no se recopilen los datos.

3.7 Asignación Espectral

En el año 2010 el Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR – Ente Regulador) por medio de la Resolución Administrativa No. 405-2010 [Anexo B], le asignó a la empresa Yota de Nicaragua la licencia No LIC-2010-AI-004, para prestar servicios de acceso a internet, como un servicio de interés general. Dicha licencia contempla el uso de la banda de los 2.5 GHz, que según el acuerdo administrativo 004-2009, destina la banda 2500 – 2690 MHz para aplicaciones de sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA), respetando de manera parcial la asignación estandarizada por 3GPP, como se muestra en la figura 25

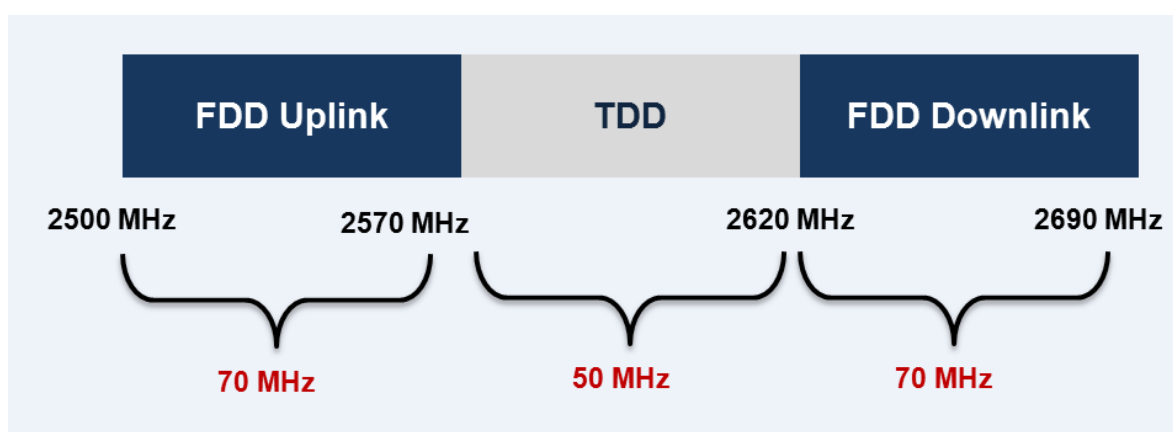


Figura 25: Asignación Espectral de 3GPP para la banda 2.5 GHz

Según información del departamento de RF de la empresa YOTA de Nicaragua, disponen de 40 MHz de la sub banda A, a partir de los 2500 MHz. Además, emplean 40 MHz de la sub-banda A' a partir de los 2620 MHz. En base a este ancho de banda espectral asignado, Yota de Nicaragua desarrollo su implementación WiMAX.

En una futura implementación LTE en la ciudad de Masaya, nosotros proponemos utilizar LTE Release 8 en esquema FDD con 10 MHz de ancho de banda. Según las políticas de Yota de Nicaragua, se pretende implementar LTE en el mismo espectro ya asignado, mientras se realiza la total migración al estándar del 3GPP. Es importante mencionar que nuestra recomendación es de carácter imperativo: realizar un reordenamiento de frecuencias para alojar ambas tecnologías. Nuestra propuesta de asignación de frecuencias se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Propuesta de Asignación Espectral

Banda de 2500 – 2690 MHz			
Frecuencias	Tecnología	Ancho de Banda (MHz)	Esquema de Duplexación
Banda A 2.5 GHz	WiMAX	10	TDD
	WiMAX	10	TDD
	Guarda	10	-
	LTE	10	FDD
.....			
Banda A` 2.6 GHz	WiMAX	10	TDD
	WiMAX	10	TDD
	Guarda	10	-
	LTE	10	FDD

Un aspecto de vital importancia a la hora de realizar nuestra propuesta fueron las consideraciones de interferencia. El primer aspecto tomado en cuenta fue la separación entre el enlace de bajada y el enlace de subida del esquema LTE FDD. Según la banda 7 definida por el 3GPP en su Release 8 [23], existe una separación de 50 MHz entre ambos enlaces, lo cual es

suficiente para evitar interferencias destructivas en el sistema. En base a esto, nuestra propuesta como se muestra en la tabla 9 va un poco más allá estableciendo una separación de 120 MHz entre las frecuencias portadora de subida y bajada respectivamente.

El siguiente aspecto de relevancia fue establecer cuanto es la banda de guarda necesaria entre las tecnologías WiMAX y LTE, conviviendo en la misma banda de frecuencia. Para ello se tomó en cuenta la especificación técnica del 3GPP nombrada “*LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 8.13.0 Release 8)*”[23], donde define la separación entre canales nominal entre dos portadores E-UTRA adyacentes por medio de:

$$\text{Nominal Channel Spacing} = \frac{(BW_{\text{channel}(1)}) + (BW_{\text{channel}(2)})}{2}$$

Bajo nuestro escenario de operación con ancho de banda de 10 MHz, el resultado de la recomendación del 3GPP, es de una banda de guarda de 10 MHz. Sin embargo la recomendación del 3GPP, solo refiere a canales adyacentes de la misma tecnología, por tal motivo se consultó un documento creado por GSMA [31] donde textualmente expresa: “*Los estudios realizados y discutidos en foros técnicos internacionales demuestran que se requiere una banda de guarda mínima de 5 MHz para hacer frente a los problemas de interferencia entre sistemas TDD y FDD que operen en bandas adyacentes en la misma zona geográfica*”. Por este motivo nosotros consideramos que la banda de guarda propuesta es ideal para nuestro escenario de migración.

3.8 Políticas de Migración de Yota de Nicaragua

Un factor clave para el éxito en cualquier negocio es entender las fuerzas que impulsarán el negocio en el futuro. Esto es especialmente cierto para la industria de comunicaciones móvil, mediante la adopción de nuevas tecnologías y estándares para proporcionar nuevos y mejores servicios a un costo más bajo que los sistemas anteriores.

La necesidad de nuevas aplicaciones y una disponibilidad mayor de velocidad y capacidad de gestión en las redes está impulsando la rápida

inversión en la tecnología LTE. Esta solución de red inalámbrica parte con el objetivo de incrementar la velocidad, reducir la latencia y desde luego reducir el costo por megabits. Yota de Nicaragua, no será la excepción a esta tendencia mundial de migración.

El proceso de migración de tecnologías no concluye con solo hacer el cambio hacia LTE. A como sus siglas lo infieren, es una tecnología en constante evolución. Por el momento el despliegue de LTE para Yota de Nicaragua se enfoca en su Release 8 como punto de partida, pero no se descarta una futura implementación de LTE-Advanced, que ya está en ejecución en otras partes del mundo.

Yota (Rusia) como empresa líder en telecomunicaciones, en Octubre de 2012 con el apoyo de Huawei, [32] fue la primera empresa en implementar LTE-Advanced en el mundo, aunque no de manera comercial. Dando por hecho, su gran interés en el estándar del 3GPP.

Este proceso de migración debe ser lo más transparente posible al usuario, por eso el cambio de dongles sería ideal para los usuarios que actualmente utilizan el servicio de Yota, porque manteniendo la misma dinámica de conexión obtendrá una mejor navegación. Del mismo modo, a nivel de despliegue de red, Yota de Nicaragua se propone realizar una transición lenta hacia LTE, permitiendo la tecnología WiMAX y LTE coexistir durante un tiempo; mientras los usuarios adoptan los cambios hacia los mejores servicios soportados por una red LTE.

La política de elección entre FDD y TDD es impulsada puramente por la disponibilidad del espectro asignado. Es razonable esperar que la mayoría de los operadores desarrollen su tecnología con equipos que garanticen la interoperabilidad global. Por ejemplo, los operadores con WiMAX han utilizado el espectro para invertir en LTE TDD en lugar de FDD. Sin embargo, con la disponibilidad de dispositivos y proveedores, FDD sigue siendo la principal opción para Yota de Nicaragua.

3.9 Reúso de equipos

Un proveedor de servicios con experiencia en la industria, puede reutilizar la mayor parte de la infraestructura, al mismo tiempo que mejora su red con nuevas características. Esto se debe a que muchos elementos pueden

ser reutilizados. En la actualidad empresas como Nokia y Huawei han presentado sus soluciones y asesoramiento para realizar migraciones hacia LTE. [33]

Los operadores pueden reutilizar su espectro asignado, torres, estaciones base, sistemas de energía, antenas, cables, red de transporte, y la mayoría de sus inversiones en centros de operación de red, incluida la infraestructura física. Además, los servidores para seguridad, facturación, autenticación, contabilidad y aplicaciones, pueden ser actualizados con nuevo software, con el propósito de reutilización. [33]

Desde el punto de vista de red de acceso, uno de los puntos principales será hacer uso de los mismos sitios que posee Yota de Nicaragua, basándonos en el principio de co-ubicación de sitios, que ha sido contemplada en la “Ley que Regula la Ubicación, Construcción e Instalación de Estructuras de Soporte para Equipos de Telecomunicaciones que hacen uso del Espectro Radioeléctrico” #843, aprobada el 27 de Junio del año 2013, con el fin de contrarrestar los problemas económicos, sociales y paisajísticos que conlleva la construcción de nuevos sitios celulares. [1]

Otro elemento de suma importancia que proponemos al reuso de equipos, son los transmisores. Partiendo que un transmisor es un transductor y que la zona de cobertura será la misma, por ende no consideramos necesario proponer un nuevo modelo de transmisor.

3.10 Cronograma de Migración

En la actualidad encontrar ejemplos de migraciones de WiMAX a LTE no es algo aislado, por el contrario en una creciente tendencia mundial. Por nombrar algunos hemos encontrado los siguientes ejemplos de migraciones [21]

- Mobily en Arabia Saudita – Mayo 2012, primera implementación comercial WiMAX/LTE en modo dual para mitigar el rápido crecimiento de suscriptores.
- Dialog en Sir Lanka – Diciembre 2012, Desplegaron una red WiMAX/LTE
- Menatelecom in Bahrain – Enero 2013, despliegue de red dual WiMAX/LTE en 3.5 GHz

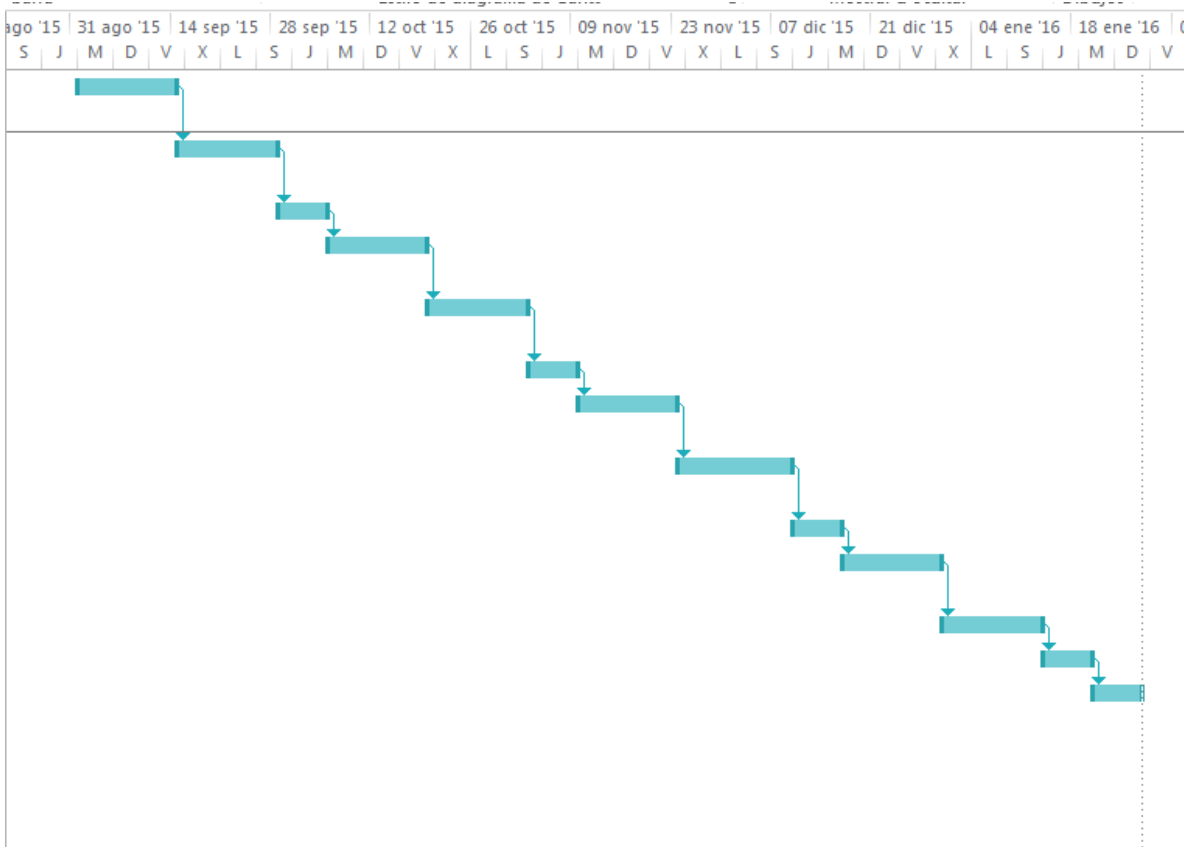
- Swift en Nigeria – Enero 2013, Primera red WiMAX/LTE en el Oeste de África

En la tabla 11 se describe una propuesta con su cronograma de tiempo para realizar la migración.

Tabla 11: Cronograma de Migración

Nombre de tarea	Duración
Instalación de equipos en estación base Monimbo	10 días
Realizar Initial Tunning	10 días
Entrega de Sitio en Operación	5 días
Instalación de equipos en estación base Ufinet	10 días
Realizar Initial Tunning	10 días
Entrega de Sitio en Operación	5 días
Instalación de equipos en estación base Plantel	10 días
Realizar Initial Tunning	12 días
Entrega de Sitio en Operación	5 días
Instalación de equipos en estación base Alcaldía	10 días
Realizar Initial Tunning	10 días
Entrega de Sitio en Operación	5 días
Realizar Drive Test de la red desplegada	5 días

Tabla 12: Cronograma de Actividades en el Tiempo



A partir de lo presentado anteriormente, las actividades para realizar la migración hacia LTE en la red de acceso de Yota de Nicaragua, se realizarán en el dominio del tiempo en cinco meses, habilitando un sitio de cobertura LTE en un periodo de 25 días, hasta crear total cobertura de LTE en la ciudad de Masaya según lo muestra la tabla 12. Teniendo en consideración la coordinación con el departamento de transmisión de datos para la integración de la red troncal.

CAPITULO IV: MEDICIONES Y SIMULACIONES

4.1 Elección de Modelo de Propagación

Elegir un modelo de propagación para realizar predicciones de cobertura es de vital importancia para un ingeniero de RF. Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas y algoritmos usados para representar las características de radio propagación de un ambiente dado [34]. Actualmente existen muchos tipos de modelos de propagación pero según la literatura el Standard Propagation Model (SPM) es el que mejor se adapta para redes LTE [34] debido a tomar en cuenta ciertas variables como las clutter clases, que no son tomadas en cuenta en modelos como el Okumura-Hata.

El SPM es un modelo, deducido de la fórmula de Hata, especialmente indicado para las predicciones en frecuencias que oscilan entre 150 MHz y 3500 MHz y para largas distancias ($1 \text{ Km} < d < 20 \text{ km}$). Además, diversos estudios corroboran que es muy adecuado para WiMAX y LTE. Este modelo utiliza el perfil del terreno, los mecanismos de difracción y tiene en cuenta las clases de ocupación de suelo (clutter) y las alturas efectivas de las antenas con el fin de calcular la pérdida de trayectoria (pathloss). [34]

Para nuestro proyecto se trató de ajustar el SPM para el ambiente de la ciudad de Masaya, con el propósito de obtener una predicción más ajustada a la realidad, sin embargo no se encontró literatura para poder ser referenciada en nuestro trabajo.

4.2 WiMAX

A continuación describimos los parámetros que fueron utilizados para la configuración.

Tabla 13: Parámetros de Configuración WiMAX

Nº	Parámetro	Valor	Comentario
1	Frecuencia	2.5 – 2.7 GHz	Asignada por TELCOR
2	Tipo de Antena	Andrew 2.3 – 2.7 GHz	Simulación en Atoll™
3	Estaciones Base	Sitios Yota	
4	Azimuth	Configuración Yota	
5	Altura Móvil (mts)	1.5	
6	Altura BS (mts)	30	
7	Tilt	Configuración Yota	
8	Vecinos	Automático	
9	Preamble Index	Configuración Yota	
10	Canalización	5 canales	Se utilizó AFP
11	Preamble Power	36 dBm	
12	WiMAX Equipment	Default (DL)	
13	Frame Configuration	1024	

4.2.1 Predicción por RSSI

Como primer caso de estudio realizaremos la predicción de la red WiMAX para la ciudad de Masaya identificando el RSSI. En las figuras 26 y 27, se muestran los posibles valores de RSSI que deberíamos recibir al realizar una prueba de campo.

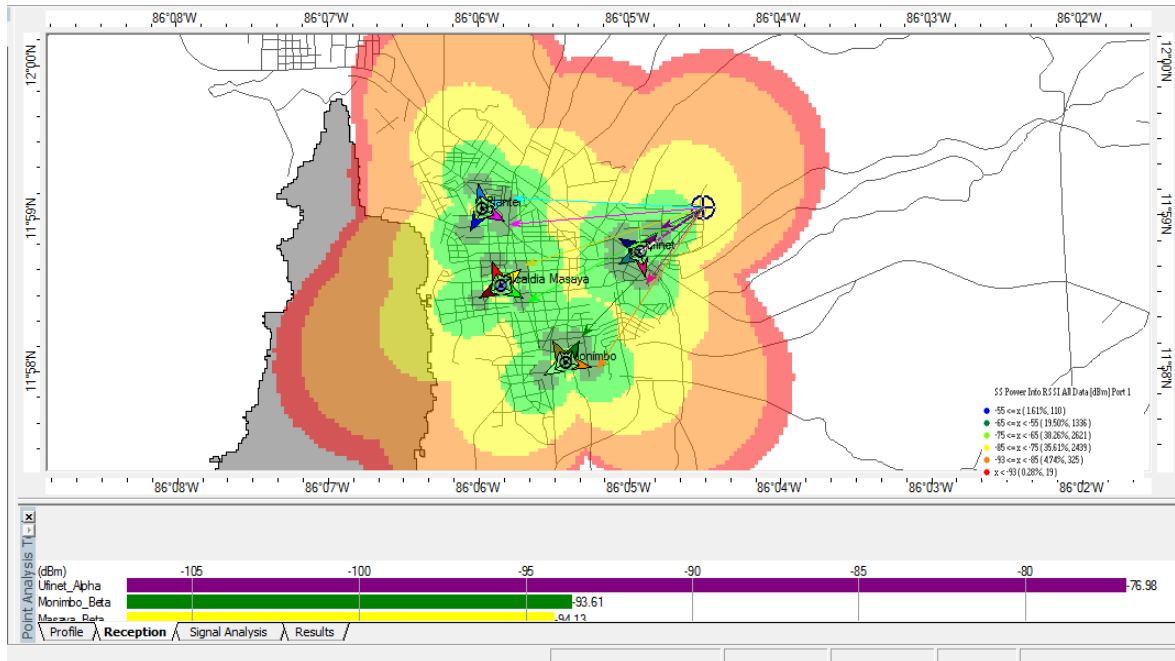


Figura 26: Predicción de Borde de Cobertura por RSSI

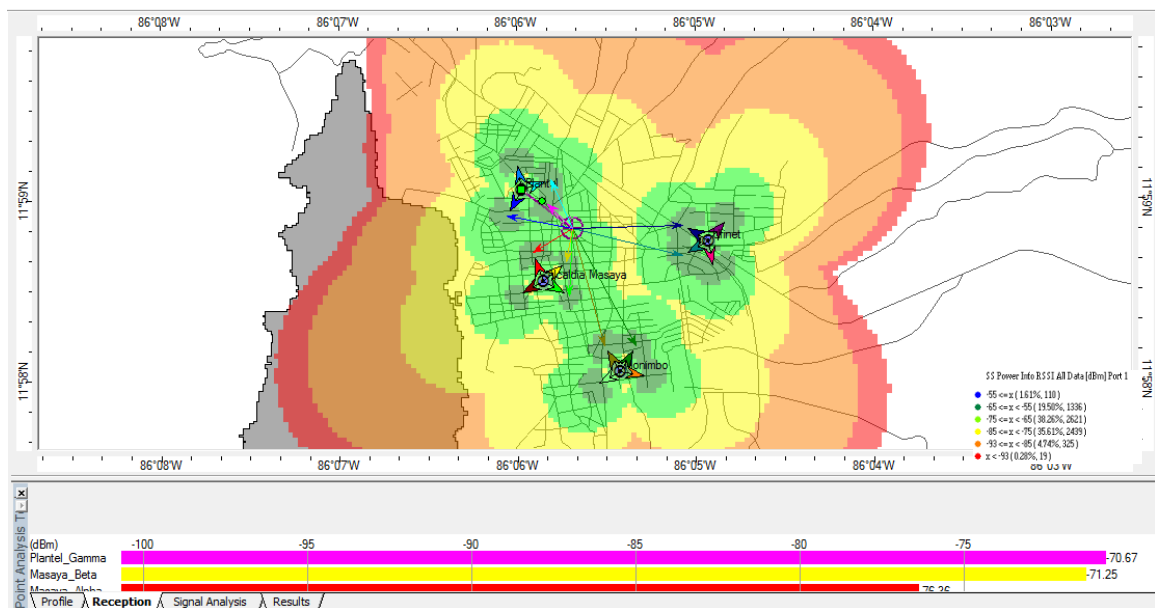


Figura 27: Predicción de Punto Intermedio por RSSI

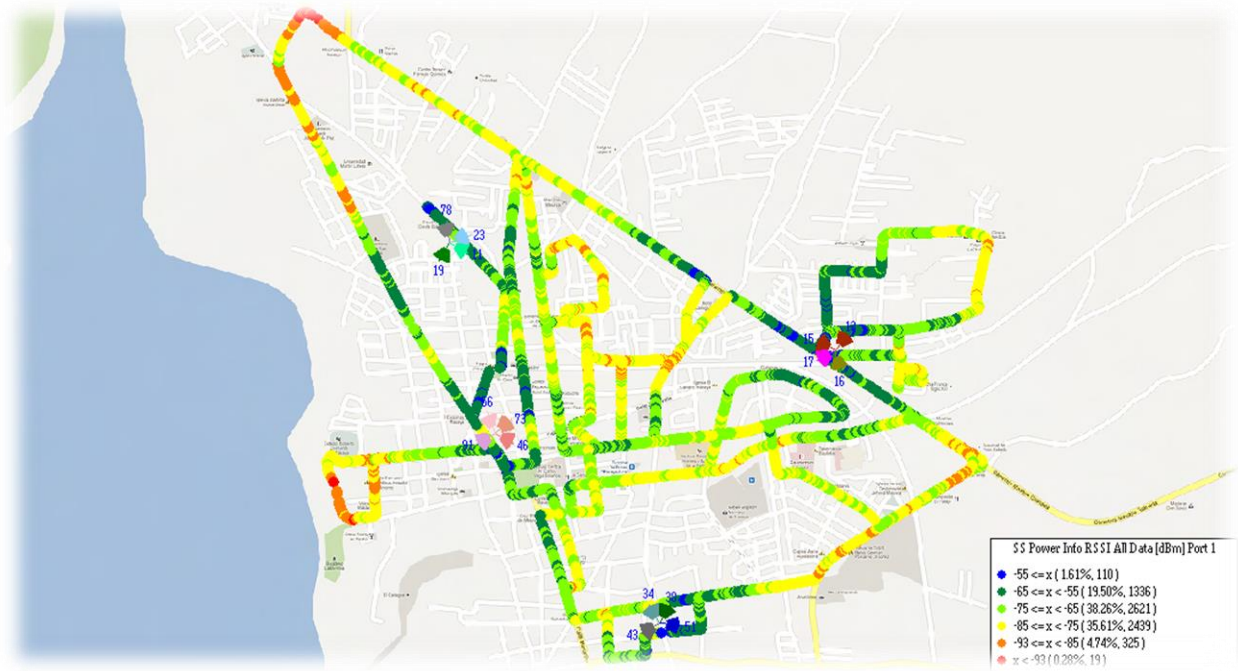


Figura 28: Resultados de Drive Test por RSSI

En la figura 28; podemos observar el recorrido realizado en el Drive Test de Masaya por RSSI, donde podemos corroborar la predicción obtenida en la simulación.

4.2.2 Predicción por CINR

Como segundo caso de estudio realizaremos la predicción de la red WiMAX para la ciudad de Masaya identificando el CINR. En las figuras 29 y 30, se muestran los posibles valores de CINR que deberíamos percibir al realizar una prueba de campo.

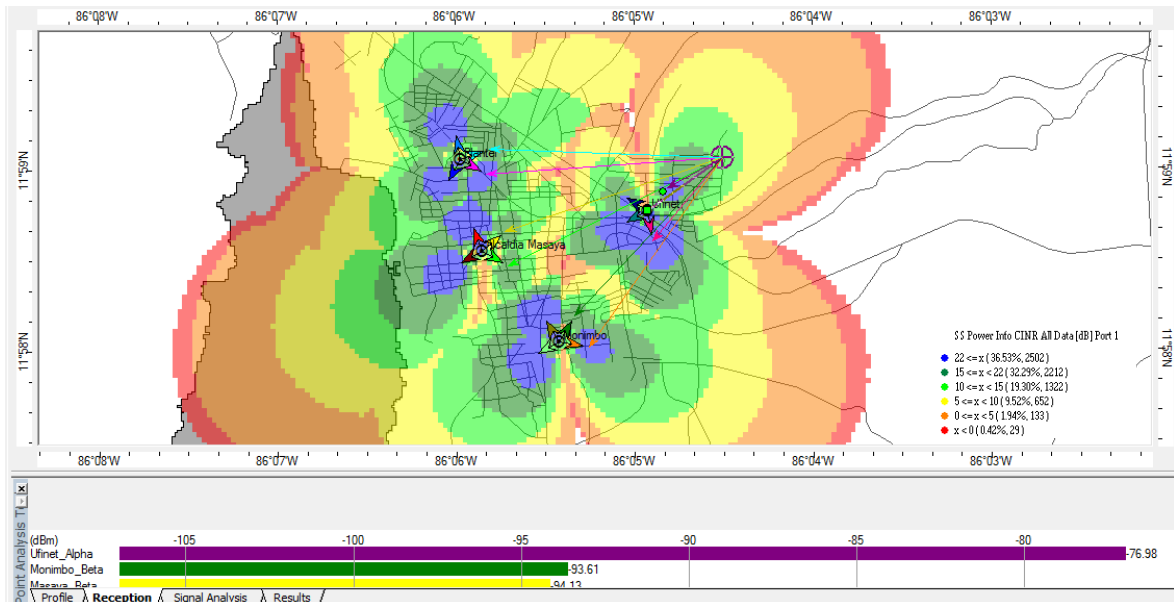


Figura 29: Predicción de Borde de Cobertura por CINR

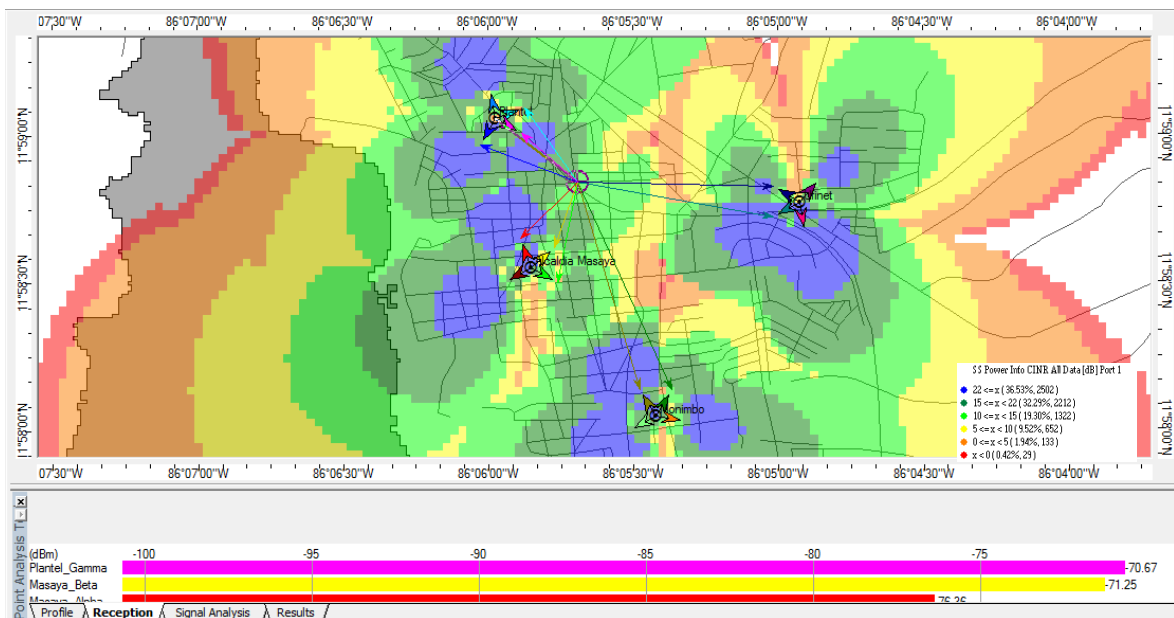


Figura 30: Predicción de Punto Intermedio por CINR

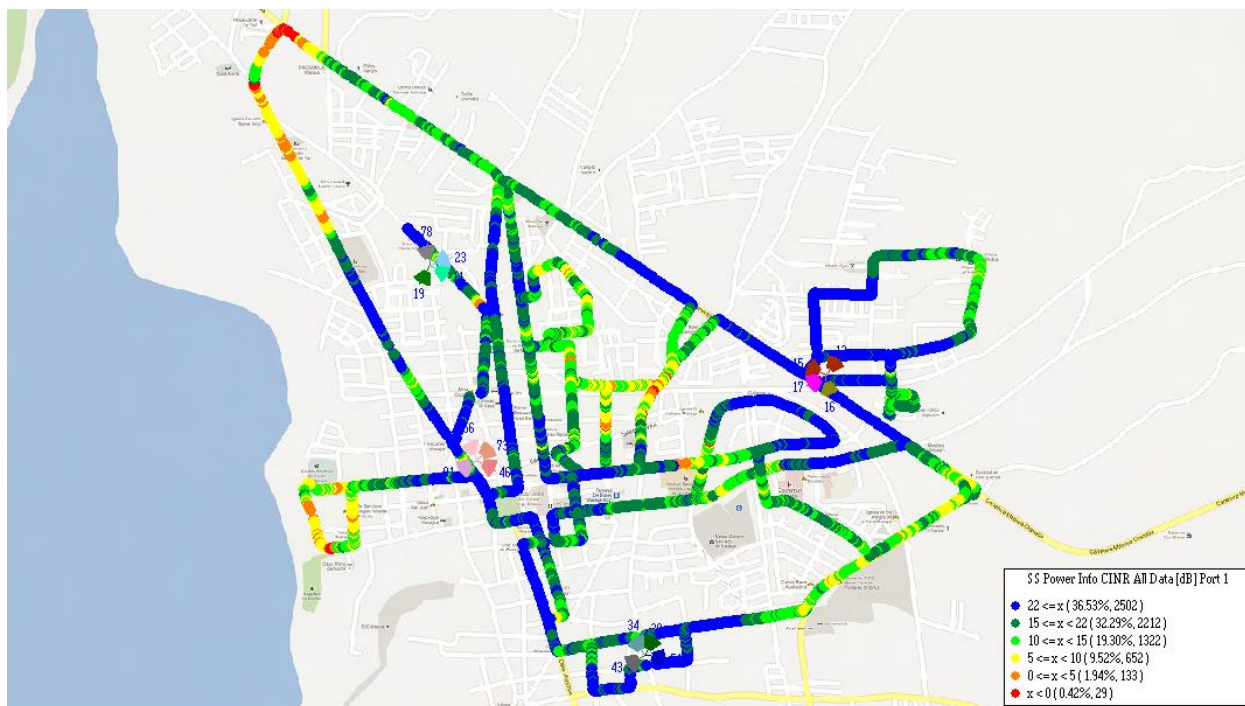


Figura 31: Resultados de Drive Test por CINR

En la figura 31, podemos observar el recorrido realizado en el Drive Test de Masaya analizado por CINR, donde podemos corroborar la predicción obtenida en la simulación.

4.2.3 Predicción por Preamble Index

Como tercer caso de estudio realizaremos la predicción de la red WiMAX para la ciudad de Masaya identificando el Preamble Index, en la figura 32, se muestra una posible conexión en el sector Alpha de la estación base Ufinet mientras que en la figura 33 se representa una conexión en el sector Gamma de la estación Plantel.

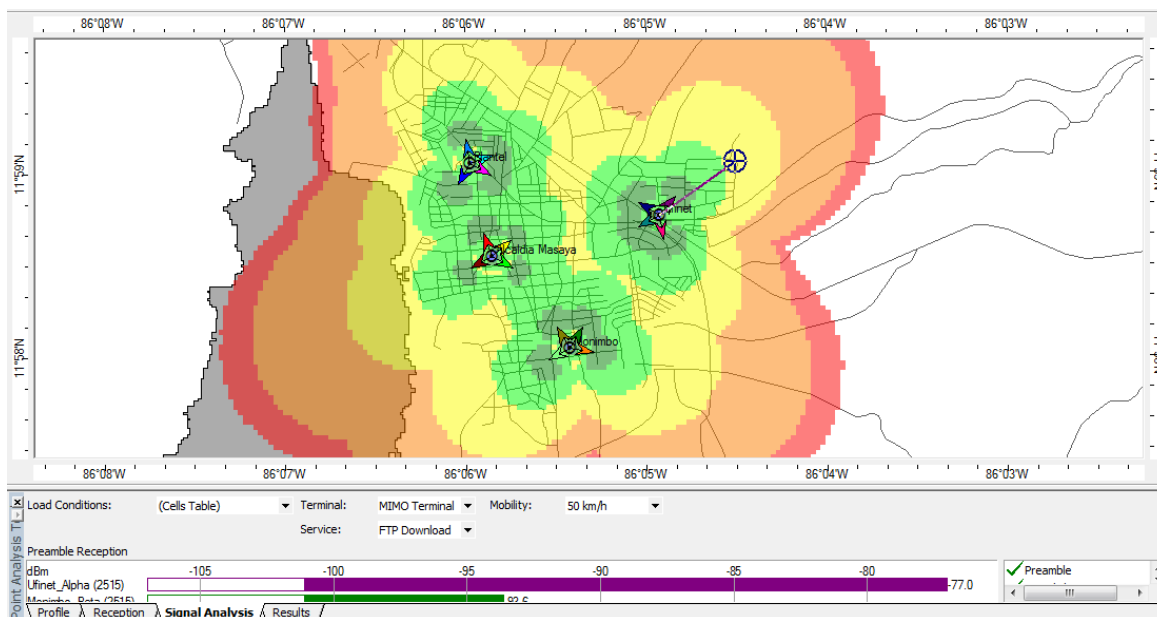


Figura 32: Predicción de Borde de Cobertura por Preamble Index

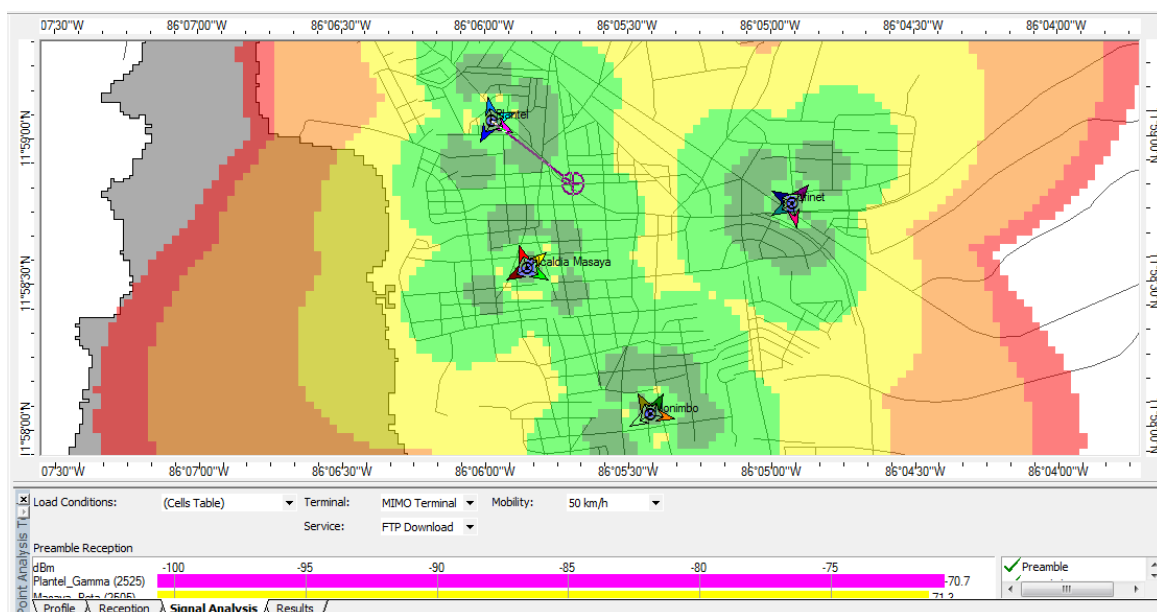


Figura 33: Predicción de Punto Intermedio por Preamble Index

En la figura 34 podemos observar el recorrido realizado en el Drive Test de Masaya por Preamble Index, donde podemos corroborar la predicción obtenida en la simulación.

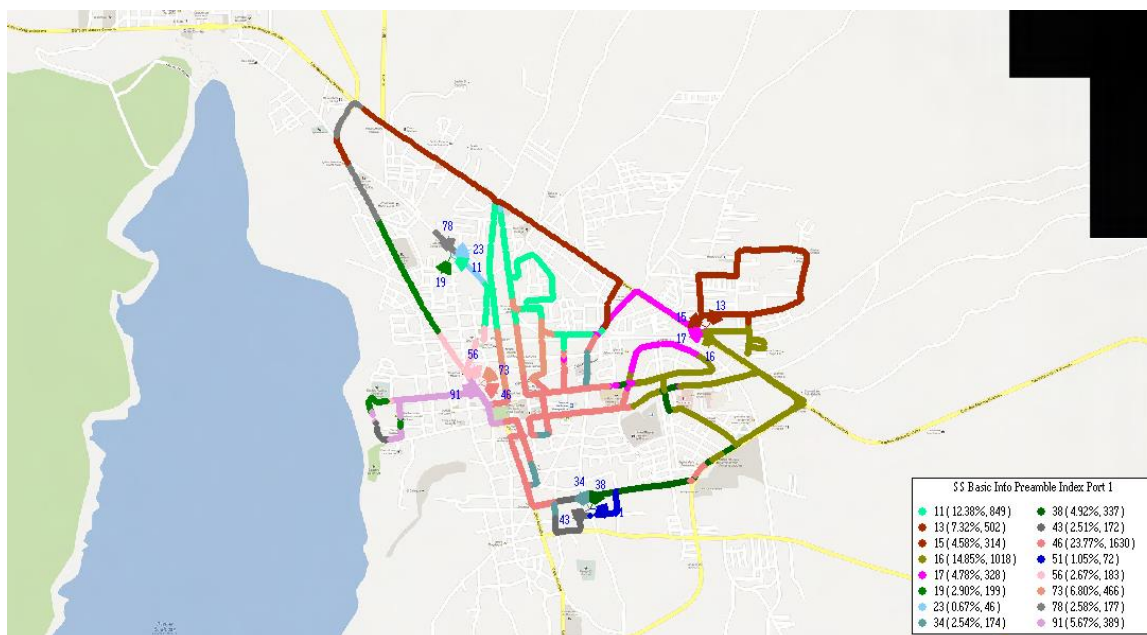


Figura 34: Resultados de Drive Test por Preamble Index

4.3 LTE

El propósito de nuestra simulación LTE es demostrar que el estándar brinda una red con un desempeño más eficiente en comparación al sistema desplegado actualmente por la empresa YOTA de Nicaragua. Por otra parte, la herramienta de simulación utilizada, tiene algunas limitaciones. Estas limitaciones incluyen, mapas digitales sin clutter class y clutter heights; algunas funcionalidades tecnológicas no disponibles, lo cual en ciertos puntos del análisis, representó datos con un grado de exactitud inferior al 85%.

La tabla 14 muestra los parámetros configurados.

Tabla 14: Parámetros Configurados en LTE

Parámetros	Valor	Comentario
Sitios	Co-ubicación	Sitios Existentes de YOTA
Tipo de Antena	Andrew 2.3 – 2.7 GHz	Reutilización
Cantidad de Sectores por Sitio	3	
Polarización	Vertical	
Tilts	3°	Eléctricos
Altura eNodeB	25 mts	
Altura Terminal	1.5 mts	
Azimuth	0,120,240	Valores por defecto
Modelo de Propagación	Standard Propagation Model	
BTS Equipment	Default eNodeB Equipment	
Banda de Frecuencia	2.5 – 2.7 Ghz	Asignada por TELCOR
Potencia de Transmisión	36 dBm	
LTE Equipment	Default LTE Equipment	
Scheduler	Proportional Fair	
Canalización	4 Canales	Limitación de Software
Celdas Vecinas	Automático	
Asignación de Frecuencias	Automático	
Asignación de Physical Cell IDs	Automático	
Tipo de Zona de Trafico	Suburbano	Área de interés
Computation Zone	18.75 Km ²	Área de interés
Histogramas	En base a porcentaje de cobertura	

4.3.1 Predicción por RSSI

Esta predicción brinda la expectativa de cobertura de la red LTE, para la ciudad de Masaya. Se utilizó la predicción *Coverage by Signal Level*, con el propósito de analizar los nivel de señal en cada punto del mapa, expresado en -dBm a como lo muestra la figura 35 y 36.

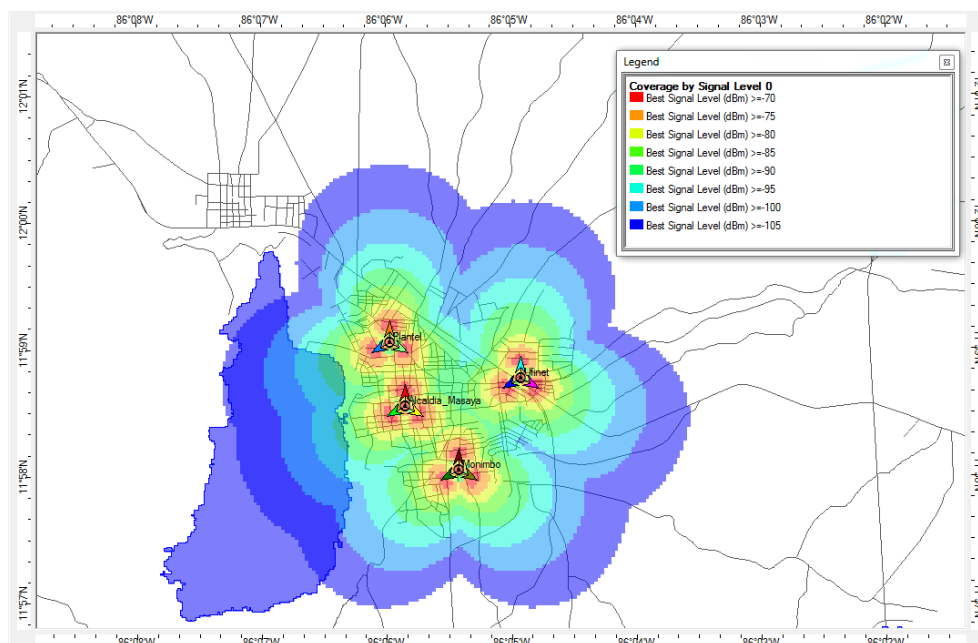


Figura 35: Predicción por RSSI

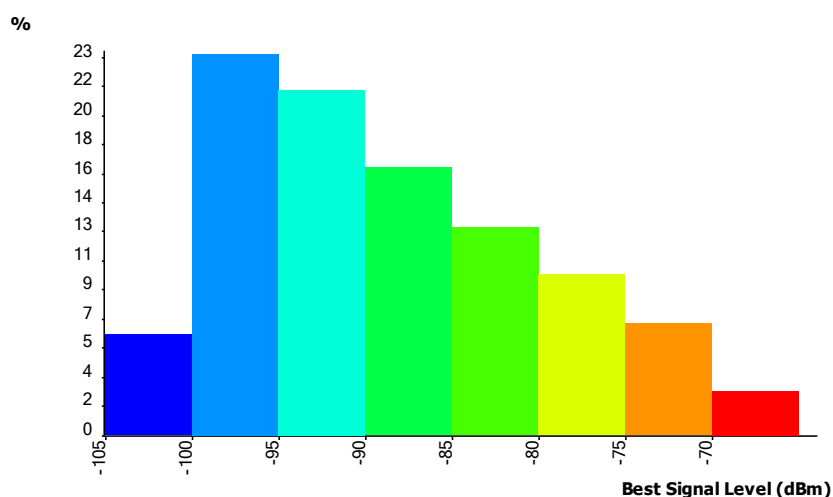


Figura 36: Histograma de Predicción por RSSI

4.3.2 Predicción por CINR

En este escenario veremos el despliegue de la red analizando el parámetro portadora a interferencia más ruido (CINR) en el enlace descendente, para así obtener una aproximación del desempeño. Además se contemplan los dos esquemas de duplexación soportados por LTE Release 8.

4.3.2.1 TDD

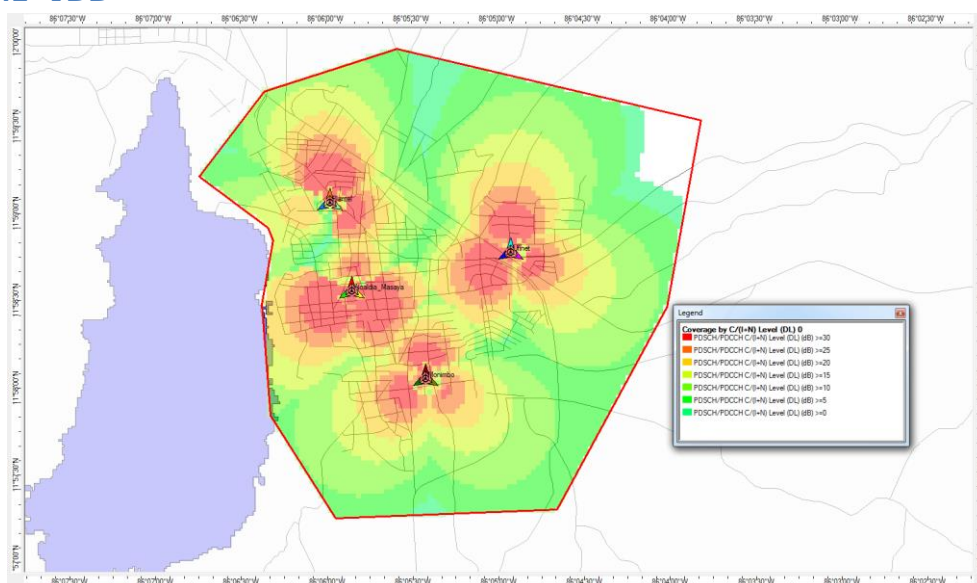


Figura 37: Predicción TDD por CINR

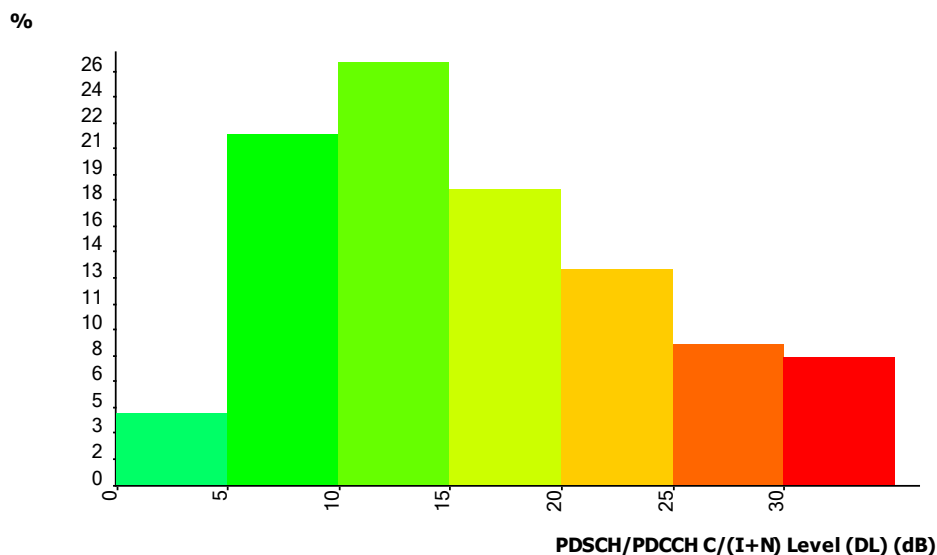


Figura 38: Histograma de Predicción TDD por CINR

4.3.2.2 FDD

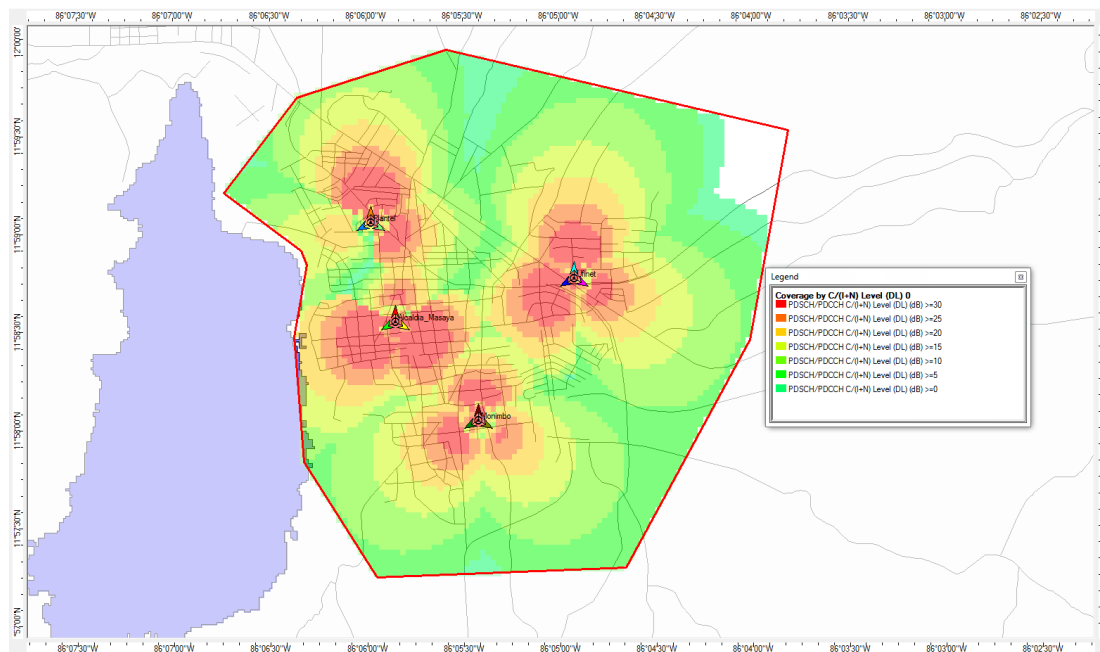


Figura 39: Predicción FDD por CINR

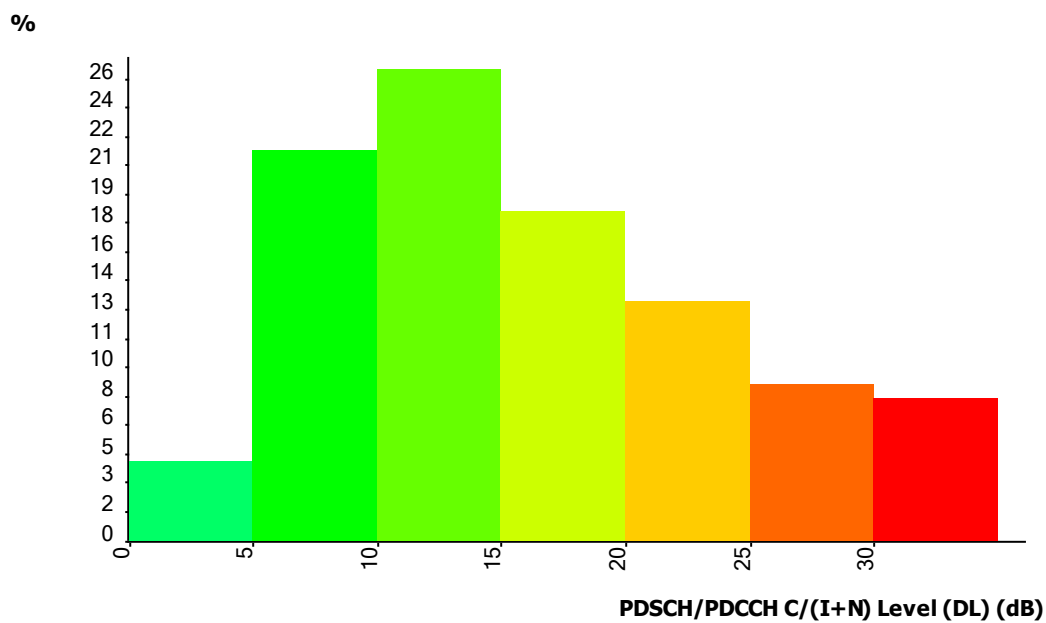


Figura 40: Histograma de Predicción FDD por CINR

4.3.3 Predicción por Throughput

En este escenario veremos el despliegue de la red analizando el parámetro de throughput en el enlace descendente, por medio de la predicción *Coverage by Throughput(DL)* ,para así obtener una aproximación del rendimiento de la red. Es importante comprender que el software predictivo, no infiere condiciones de tráfico, ya que esta predicción se basa en los valores de CINR. Además se contemplan los dos esquemas de duplexación soportados por LTE Release 8.

4.3.3.1 TDD

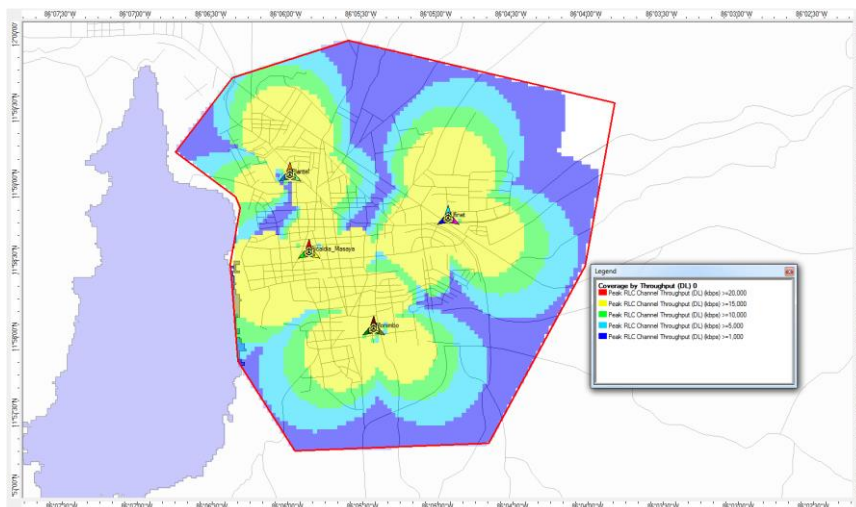


Figura 41: Predicción TDD por Throughput

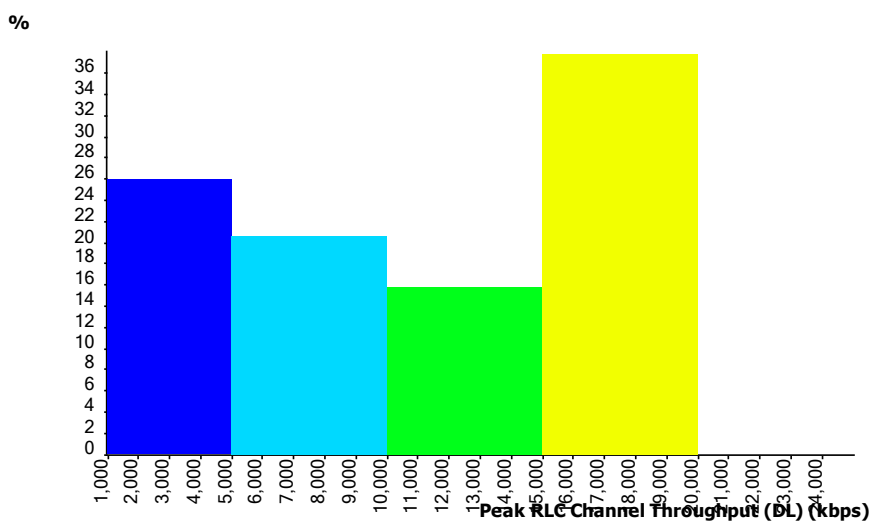


Figura 42: Histograma de Predicción TDD por Throughput

4.3.3.2 FDD

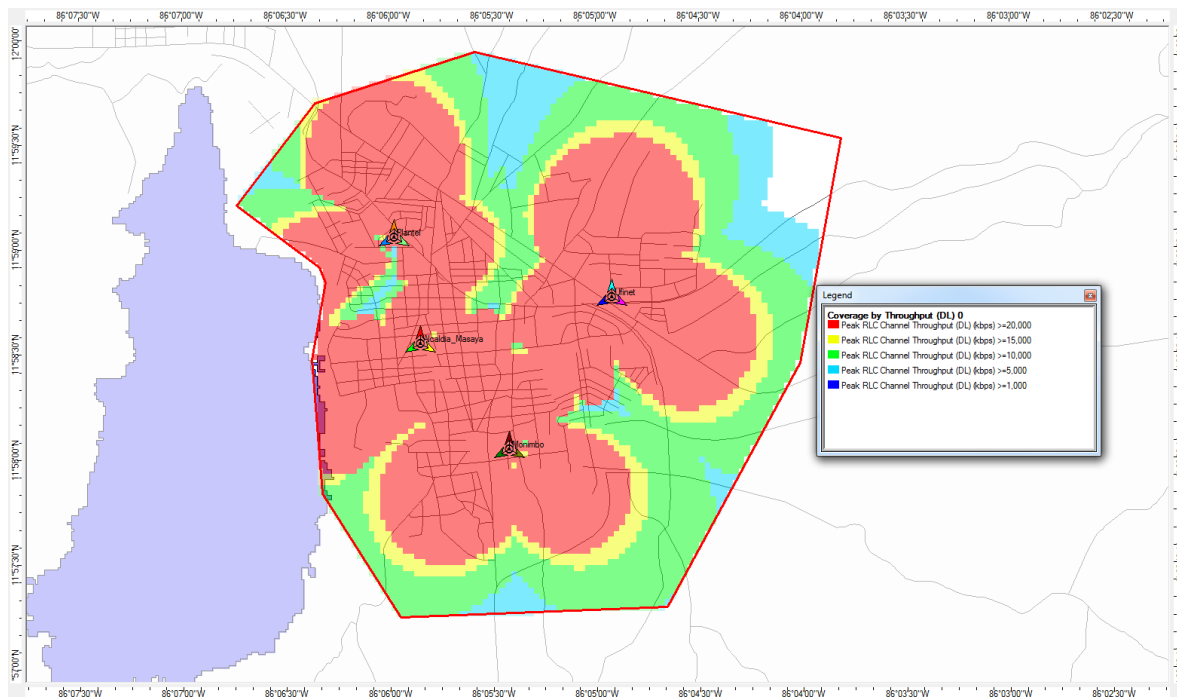


Figura 43: Predicción FDD por Throughput

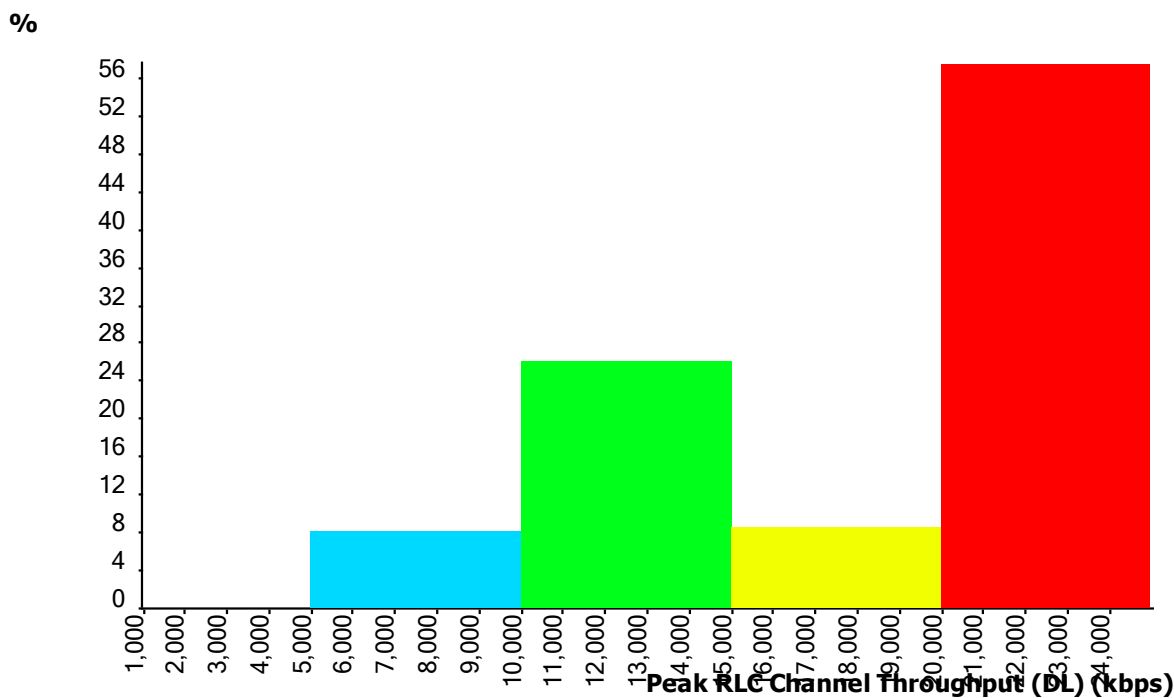


Figura 44: Histograma de Predicción FDD por Throughput

4.3.4 Predicción por RSRQ

En el estándar LTE o en cualquier otra tecnología de comunicaciones móviles de última generación, es necesario que el terminal (UE) reporte información acerca del estado del canal para realizar decisiones relacionadas a la transmisión, con el propósito de hacer el mejor uso de los recursos del sistema. La retroalimentación proveída por el terminal (UE) relacionado a las configuraciones de transmisión es conocida como CQI (Channel Quality Indicator), donde en función de este parámetro se asigna un esquema de modulación y codificación conocido como MCS (Modulation and Coding Scheme).

Por el otro lado existen tres parámetros de estado de canal, directamente relacionados con la elección de celda y procesos de handover en función de la cantidad y calidad de señal recibida por el terminal (UE), estos son:

- **RSSI (*Receive Strength Signal Indicator*)**: es la potencia total de la señal recibida de todas las fuentes electromagnéticas, que incluye el ruido, potencia de canales adyacentes y celdas vecinas.
- **RSRP (*Reference Signal Received Power*)**: Es la potencia media de los PRB (Physical Resource Block) que transportan señales de referencia de una celda específica dentro de cierto ancho de banda asignado. Provee información sobre la intensidad de la señal y no sobre la calidad de la misma. 3GPP define los rangos de RSRP en su referencia TS 36.133.
- **RSRQ (*Reference Signal Received Quality*)**: Indica la calidad de la señal de referencia recibida. La estimación del RSRQ está en función del RSRP y RSSI debido que el RSRP determina la eficiencia de la señal y el RSSI determina la interferencia co-canal y ruido. Este parámetro es usado para la elección de celdas durante el handover. El 3GPP define los rangos del RSRQ en su referencia TS 36.133. El RSRQ se calcula con la siguiente fórmula, siendo N el número de PRB, siendo 50 PRB para un canal de 10 MHz.

$$RSRQ = \frac{RSRP}{RSSI} \times N$$

Con el objetivo de poder predecir la calidad de cobertura en un futuro despliegue, nosotros consideramos importante obtener una predicción del parámetro de RSRQ. Para realizar dicho propósito nos auxiliamos del documento “LTE RF Optimization Guide V1.0”, de Huawei Technologies, donde en base a sus estudios tomamos valores aproximados de RSRP en el borde, medio y cercanía de la celda. De la misma forma en base a la experiencia con la empresa Yota de Nicaragua definimos valores de RSSI efectivos en los tres puntos de la celda para obtener una experiencia de navegación satisfactoria, como lo muestra la tabla 15. Adicionalmente, para realizar los cálculos se manipuló la formula antes descrita de la siguiente manera:

$$RSRQ = 10 \log N + (RSRP - RSSI)$$

Tabla 15: Predicción por RSRQ

Parámetro	Punto Cercano de Celda	Intermedio de Celda	Borde de Celda
RSSI (-dBm)	-70	-80	-90
RSRP (-dBm)	-84	-94	-104
RSRQ (dB)	2.98	2.98	2.98
N	50	50	50

4.3.5 Simulación

En esta sección presentamos los resultados de la simulación de la red bajo un ambiente de carga para obtener aproximaciones de throughput ofrecido por la red, en base a un número de usuarios aleatorios, en un ambiente sub-urbano generados por el software, por medio del algoritmo de Montecarlo. Se define un área de tráfico suburbana de 18.75 km² y se configuró la herramienta para generar resultados en base a 10 intentos de simulación.

Es importante mencionar que en esta simulación no se logra obtener grados de exactitud muy elevados, debido a las limitaciones de la versión del software disponible (Atoll™ 2.8.0), es una versión inicial con soporte LTE y no contiene la opción de ICIC (Inter Cell Interference Coordinator). Por esta razón, se optó por utilizar un reusó de frecuencias duro, como el empleado en redes GSM, mediante 4 canales permitiendo al módulo AFP (Automatic Frequency Planner) asignar las frecuencias a cada transmisor, con el fin de minimizar las interferencias.

Se decidió emplear el reuso de frecuencias duro, con el propósito de tratar de obtener resultados de radio propagación lo más reales posibles, sacrificando resultados de throughput, limitando las capacidades del sistema a un 25 %.

Si se utilizara un reuso de frecuencia de 1, a como lo establece LTE Release 8, el software tomaría la mayor parte de la cobertura como interferencia, al no haber un mecanismo de mitigación; creando una simulación no exacta en términos de radio propagación y capacidad.

4.3.5.1 TDD

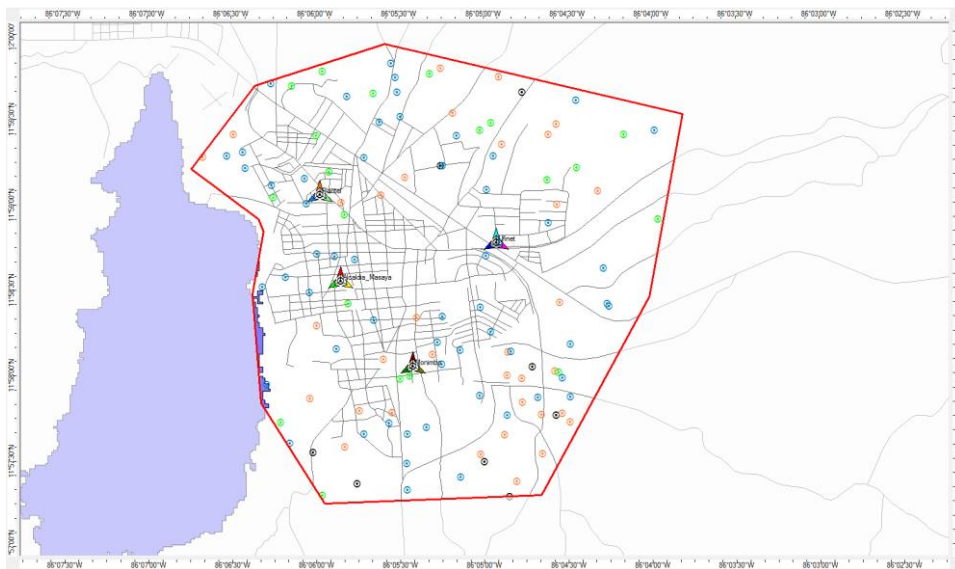


Figura 45: Simulación en TDD

4.3.5.2 FDD

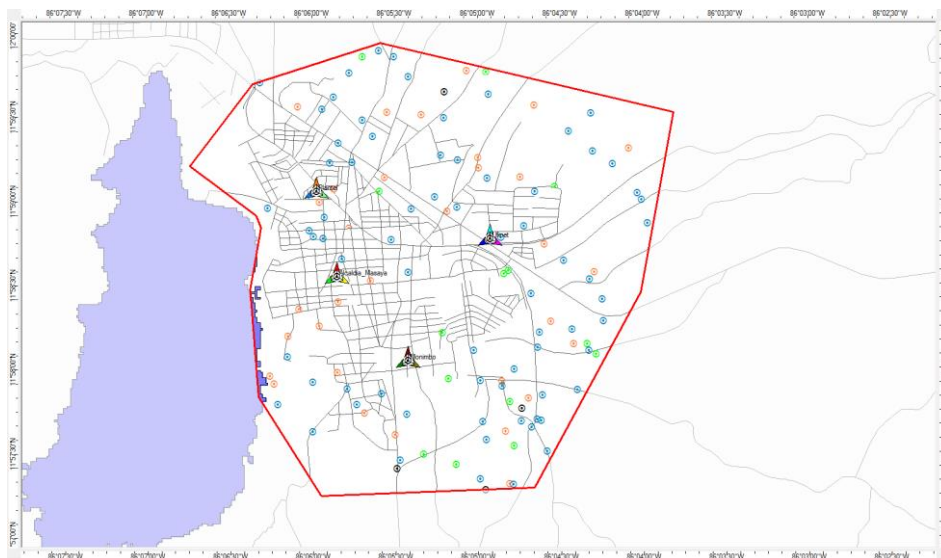


Figura 46: Simulación en FDD

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Comparación de Predicción WiMAX con Red Yota

A partir de nuestro escenario 1, que consiste en una red WiMAX (IEEE 802.16e) con parámetros técnicos iguales a los existentes en la red de Masaya de la empresa Yota de Nicaragua. Hemos construido la tabla 16 para mostrar nuestros resultados, los cuales son muy satisfactorios. Esto se debe que a pesar de encontrar algunas limitantes en el software de simulación, la prueba de campo brindó valores muy cercanos a los simulados.

En función de los valores simulados y los extraídos en el drive test, se puede corroborar que en los parámetros CINR y RSSI, los valores corresponden al mismo rango de recepción. Además, los preamble index brindaron resultados idénticos a los recolectados en la prueba de campo.

Es por esta razón, que consideramos que los datos obtenidos, por medio de la herramienta Atoll™, son completamente fidedignos y pueden ser tomados como punto de partida para cualquier diseño de red de acceso, como el propuesto en nuestro trabajo bajo el estándar LTE.

Tabla 16: Comparativa Simulación WiMAX y Drive Test

Parámetros	MUESTRA		RESULTADOS DRIVE TEST	
	Borde de Cobertura	Punto Intermedio de Cobertura	Borde de Cobertura	Punto Intermedio de Cobertura
Valor CINR	$10 \leq x < 15$	$10 \leq x < 15$	$10 \leq x < 15$	$10 \leq x < 15$
Valor RSSI	$-85 \leq x < -75$	$-75 \leq x < -65$	$-85 \leq x < -75$	$-75 \leq x < -65$
Preamble Index	Ufinet (13)	Plantel (11)	Ufinet (13)	Plantel (11)

5.2 Comparación de Esquemas de Duplexación en LTE

En la actualidad existe la posibilidad de desplegar redes de última generación, en esquemas de duplexación FDD o TDD. Sin embargo, existe una tendencia mundial hacia el esquema FDD. Por tal motivo, en nuestro estudio se hizo basado en pruebas a nivel de simulación para poder comparar el rendimiento de los esquemas en iguales condiciones de red.

Los resultados obtenidos muestran que en función del parámetro C/ (I+N) ambos esquemas presentan los mismo valores. Esto debido que desde el punto de vista de la radio propagación, no existen cambios significativos entre ambos esquemas. Por el otro lado, al analizar resultados por medio del parámetro throughput, existe una clara mejoría a favor del esquema FDD, al poseer bandas pareadas. El esquema FDD, proporciona más de la mitad del área de cobertura, específicamente un 57%, con valores entre 20 -25 Mbps. Mientras que en el esquema TDD, aproximadamente la mitad de los usuarios, específicamente el 46% de cobertura, podrá tener entre 0 – 10 Mbps, como lo muestra la tabla 17.

5.2.1 Predicciones

Tabla 17: Comparativa de Esquemas de Duplexación

C/ (I+ N)			Throughput		
Valores	FDD	TDD	Valores (Mbps)	FDD	TDD
0 – 5	4	4	0 – 5	0	25.90
5 – 10	22	22	5 – 10	8	20.6
10 – 15	26	26	10 – 15	26	15.7
15 - 20	18	18	15 - 20	9	37.7
20 – 25	13	13	20 – 25	57	0
25 – 30	9	9			
30 - 35	8	8			

5.2.2 Simulación con Tráfico

Del mismo modo, el presente estudio no se limitó exclusivamente a predicciones; sino que se realizó el análisis de ambos esquemas, con consideraciones de tráfico, para obtener aproximaciones a nivel de sistema. Los resultados obtenidos, demuestran una ventaja del esquema FDD en el throughput ofrecido con 8.65 Mbps; comparados a los 7.77 Mbps que brinda el

esquema TDD. Lo cual corrobora la literatura expuesta en el capítulo II, en donde el esquema FDD brinda una mejor eficiencia espectral sobre TDD.

Tomando en consideración el enlace ascendente (uplink) los resultados muestran una ligera mejoría en TDD, proporcionando mejores velocidades que FDD, como lo muestra la tabla 18.

Tabla 18: Comparativa de Simulación de Esquemas de Duplexación

Esquema de Duplexación	Downlink		Uplink	
	Max Throughput Demand (Mbps)	Min Throughput Demand (Mbps)	Max Throughput Demand (Mbps)	Min Throughput Demand (Mbps)
FDD	8.65	4.5	1.56	0.937
TDD	7.77	4.08	1.59	1.01

5.3 Comparativa de red WiMAX con LTE FDD

Desde la perspectiva de tecnologías de red de acceso, hemos tomado la simulación de WiMAX móvil para ser comparada con una versión LTE Release 8 en esquema FDD basado en un posible despliegue de red en la ciudad de Masaya por parte de la empresa Yota de Nicaragua.

Los resultados muestran un mejor desempeño de la red al usar la tecnología LTE. A partir de la predicción de throughput, donde en ambos puntos considerados, se obtiene una mejora del 100%, traspasando de valores de 10 Mbps (WiMAX) a 20 Mbps (LTE), para cada tecnología, como lo muestra la tabla 19.

Tabla 19: Comparativa de WiMAX y LTE FDD

Parámetros	WiMAX		LTE (FDD)	
	Punto Intermedio	Borde de Cobertura	Punto Intermedio	Borde de Cobertura
RSSI	-70.67	-78.2	-71.1	-85.3
CINR	19	12	15	10
Throughput	10	10	20	20

En otro orden, la red WiMAX simulada presenta ligeramente mejores valores en función del RSSI y CINR. Esto es debido que los valores usados en la red WiMAX han sido obtenidos por medio de un proceso de optimización, al pertenecer a la red existente desplegada por Yota de Nicaragua. Mientras que

los valores de la simulación LTE, son parte del radio planning de una futura implementación LTE.

A pesar de la consideración expuesta anteriormente, los valores sobresalientes de la simulación WiMAX, contienen aproximadamente apenas un 25% de ventaja sobre los de LTE, teniendo como excepción los valores de throughput. Lo que nos hace pensar que una red LTE desplegada y optimizada, perfectamente podrá igualar los parámetros de RSSI y CINR. Además de superar por amplio margen los valores de throughput de la red WiMAX.

5.4 Migración de Terminales

En base de las políticas de la empresa Yota de Nicaragua, que pretende realizar una migración suave hacia la tecnología LTE, permitiendo la coexistencia de la red WiMAX móvil y LTE Release 8, mientras se realizan las labores de mercadeo y adopción de los usuarios a la nueva tecnología del 3GPP. Es de vital importancia entender que la empresa Yota de Nicaragua, desea mantener su actual perfil de proveedor de servicios de banda ancha, mediante el uso de dongles, debido que desde la perspectiva del usuario final se realizara una migración transparente, únicamente con el reemplazo de su actual dispositivo final.

En función de esta política de la empresa, nosotros proponemos un dongle con capacidad LTE de la marca Samsung, debido que la empresa Yota de Nicaragua actualmente comercializa equipos terminales de la misma marca. Nuestra elección es el Samsung GT-B3730 LTE Dongle, con soporte de la banda 7 LTE. Para mayor información consultar el Anexo E.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En este trabajo hemos desarrollado un estudio técnico de propuesta de plan de migración de la red de acceso de WiMAX a LTE Release 8 para la empresa Yota de Nicaragua y demostramos la viabilidad técnica en nuestro escenario de investigación.

Según nuestro estudio y en base a las políticas de la empresa Yota de Nicaragua, LTE Release 8 es la mejor solución para sus necesidades. Debido a que se reutiliza su infraestructura existente y se hace una transición suave al operar ambas tecnologías de forma paralela, además responde a la necesidad de migración transparente de tecnología para el usuario, solamente con el reemplazo de equipos terminales.

Como resultado de nuestro estudio concluimos que ambas tecnologías son soluciones eficientes para redes MAN (Metropolitan Area Networks), al usar OFDMA como método de acceso para el enlace de bajada (downlink), utilizar una estructura all-IP, permitir anchos de bandas flexibles, modulaciones adaptativas y soporte de tecnología MIMO. Sin embargo, LTE permite latencias de 5ms en función de una arquitectura reducida all-IP, contribuyendo a una mejor eficiencia espectral con el sistema de antenas MIMO, y su mayor ventaja es brindar un incremento del 100% de la velocidad de conexión como lo corroboran nuestras predicciones.

Nuestra elección del esquema de duplexación FDD sobre TDD se hizo en función de la banda de frecuencia asignada a Yota de Nicaragua, que según las recomendaciones del 3GPP corresponde a una banda pareada. Además, existe una tendencia mundial en base a una mayor disponibilidad de equipos, soporte y proveedores en este esquema. Como resultado la adopción de este esquema permitirá a Yota de Nicaragua una implementación más factible en la relación costo-beneficio.

En base a nuestros resultados comparativos de los esquemas de duplexación demostramos un mejor desempeño de throughput del 15% utilizando FDD en nuestra área de interés, lo que brindará un mejor desempeño con respecto a TDD para los usuarios de la red de Yota de Nicaragua.

Según nuestro estudio la tecnología WiMAX y LTE pueden coexistir en la misma zona geográfica y en el mismo espacio espectral de la licencia otorgada por TELCOR. Una futura implementación de LTE tendrá la misma zona de cobertura de red WIMAX actualmente desplegada en la ciudad de Masaya, mejorando en un 100% las tasas de descargas.

Finalmente, concluimos que la migración de la red de acceso puede realizarse de forma escalonada en un relativo corto periodo de tiempo (5 meses) debido a la reutilización de sitios, transmisores, banda de frecuencia, torres, sistemas de energía, cables e infraestructura física, reduciendo la inversión inicial, haciendo la propuesta de migración mas atractiva para implementación.

6.2 Recomendaciones

A partir de nuestro proceso investigativo, existen temas de estudios que no forman parte de nuestros objetivos, por esta razón proponemos como trabajos futuros:

- La realización de un estudio técnico para la migración de la red troncal de la red WiMAX (CSN) hacia la red LTE (EPC) de la empresa Yota de Nicaragua.
- Elaboración de un plan de Mercadeo para la adquisición de equipos de usuarios y tarifas de servicio.
- Una vez implementada la red LTE Release 8, elaborar un plan de actualización para migrar hacia LTE Advanced y brindar nuevos servicios bajo la misma red.
- Utilizar una versión de Atoll™ actualizada, con el propósito de emplear las herramientas de mitigación de interferencia (ICIC), no soportadas en la versión 2.8.0.
- Realizar un análisis de interferencia entre WiMAX y LTE en la misma zona geográfica.
- Desarrollar una propuesta del ecosistema LTE, por medio de femto y micro celdas para solventar las exigencias de tráfico.
- Desarrollar guías de laboratorio para enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones a través del software Atoll™.
- Implementar un plan de optimización de la futura red LTE Release 8 en la ciudad de Masaya.
- Extender nuestro estudio a la ciudad de Managua.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rodríguez Carlos, Estudio Experimental por Simulación del Diseño de una red LTE de Telefonía y Datos Móviles en Nicaragua, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2013.
- [2] Dahlman, E., Parkvall, S. & Skold, J., 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Published by Elsevier Ltd, 2011..
- [3] Ericsson Mobility Report, On The Pulse Of The Networked Society, Sweden, February 2015
- [4] Prasad Ramjee, Velez Fernando J, WiMAX Networks, Editorial Springer 2010.
- [5] Cox Christopher, An Introduction to LTE, Segunda Edición, Editorial Wiley, 2014.
- [6] Manual de atención al cliente, Yota de Nicaragua, 2009.
- [7] Referencia web
<http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MASAYA/masaya.pdf>
- [8] Chen Kwang-Cheng, De Marca Roberto, Mobile Wimax, Editorial Wiley, 2008.
- [9] Byeong Gi Lee, Sunghyun Choi, Broadband Wireless Access and Local Networks Mobile WiMAX and WiFi. Published by Artech House, Inc, 2008.
- [10] Referencia Web: <http://www.intechopen.com/books/trends-in-telecommunications-technologies/quality-of-service-differentiation-in-wimax-networks>
- [11] Milla Cazana José Alejandro, Diseño de una red LTE para el distrito del Callao, Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima, Agosto 2012.
- [12] Referencia Web <http://www.gsacom.com/news/statistics>

[13] Fernandez Lopez Ignacio, Planificación y dimensionado de una red LTE, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2013 – 2014.

[14] Referencia Web:
https://www.itu.int/osg/imt-project/docs/What_is_IMT2000-2.pdf

[15] Holma Harri, Toskala Antti, LTE-Advanced 3GPP Solution For IMT-Advanced, Editorial WILEY, 2012.

[16] Referencia Web
<http://www.4gamericas.org/en/resources/statistics/statistics-global/>

[17] Referencia Web
<http://www.4gamericas.org/en/resources/statistics/statistics-latin-america/>

[18] Referencia Web
<http://www.lajornadanet.com/diario/archivo/2011/abril/6/10.php>

[19] Referencia Web
http://www.4gamericas.org/files/7114/3319/8297/LTE_America_Latina_6.1.15x.pdf

[20] Referencia Web
http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular_concepts/tdd-fdd-time-frequency-division-duplex.php

[21] Elnashar Ayman, El-saidny Mohamed, Sherif Mahmoud, Design, Deployment and Performance of 4G LTE Networks, Editorial Wiley, 2014.

[22] Referencia Web http://www.ericsson.com/news/121219-first-onverged-lte-fdd-tdd-network-launched-by-china-mobile-hong-kong-and-partner-ericsson_244159017_c

[23] LTE TDD – The Global Solution for Unpaired Spectrum, Qualcomm, September 2014.

[24] LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 8.13.0 Release 8), Technical Specification

[25] Agusti Comes Ramon, Alvarez Francisco Bernardo, Casadevall Palacio Fernando, Ferrus Ferre Ramon, Perez Romero Jordi, Sallent Roig Oriol, LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles, Editorial Fundación Vodafone España, 2010.

[26] LTE; Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced) (3GPP TR 36.912 version 12.0.0 Release 12), Technical Specification

[27] Referencia Web <http://www.forsk.com/web/EN/11-Atoll™-overview.php>

[28] User Manual Atoll™ version 2.8.0, Atoll™ RF Planning & Optimisation Software, Release AT280_UM_E0, 1997 – 2009 by Forsk.

[29] Manual de Atoll 3.1.0, Atoll™ LTE Features, Forsk 2011.

[30] Referencia Web <http://www.telecomhall.com/ES/que-es-drive-test-testing-de-rf.aspx>

[31] La Banda de 2,6GHz: Oportunidad para lograr una Banda Ancha Móvil Global, GSMA, 2010.

[32] Referencia Web <http://pr.huawei.com/en/news/hw-195418-yotalte-advanced.htm#.VW7YOdJVhBc>

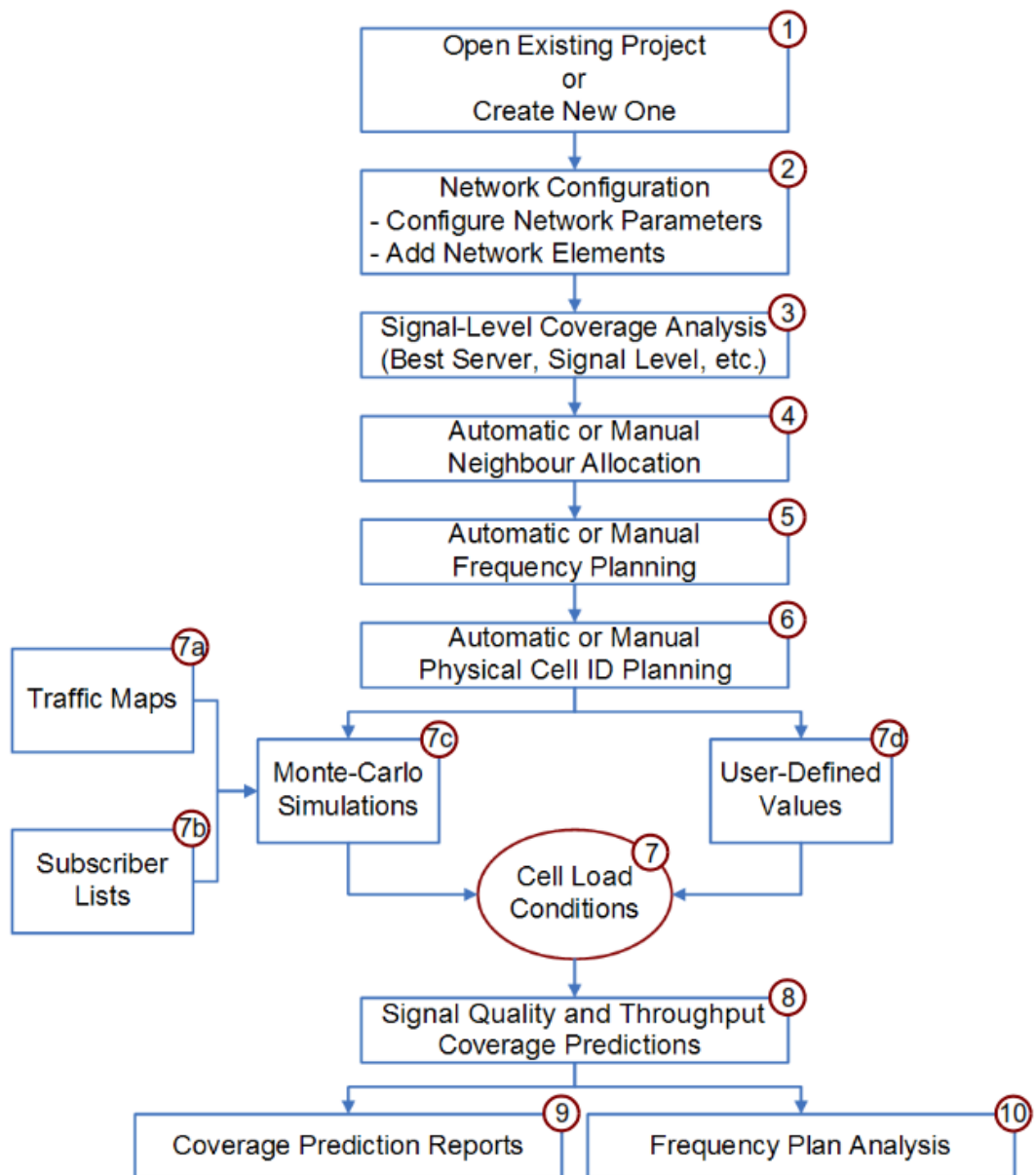
[33] Referencia Web <http://company.nokia.com/en/news/press-releases/2014/09/03/nokia-networks-offers-wimax-operators-migration-to-td-lte-advanced-technology-networksperform>

[34] M.Suneetha Rani, Subrahmanyam VVRK Behara, K.Suresh, Comparison of Standard Propagation Model (SPM) and Stanford University Interim (SUI) Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE), India, 2012


ANEXOS

- **Anexo A:** Algoritmo para el diseño de una red LTE en Atoll™
- **Anexo B:** Resolución Administrativa No. 405-2010 emitida por TELCOR
- **Anexo C:** Algoritmo empleado por Atoll™ para la simulación de MonteCarlo
- **Anexo D:** Yota ICON
- **Anexo E:** Samsung GT-B3730 LTE Dongle

Anexo A: Algoritmo para el diseño de una red LTE en Atoll™



- **Anexo B: Resolución Administrativa No. 405-2010 emitida por TELCOR**

 **Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional**
El Pueblo, Participante!

2010:
AÑO DE LA
SOLIDARIDAD
¡Por Nicaragua Libre!

**RESOLUCION ADMINISTRATIVA
No. 405-2010**

Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR – Ente Regulador), Managua, tres de Septiembre del año dos mil diez. Las ocho y treinta minutos de la mañana.

VISTOS RESULTA

El día veintiseis de Agosto del año dos mil diez, **YOTA DE NICARAGUA, S. A.**, solicitó a TELCOR, asignación de título habilitante para prestar el Servicio de Acceso a Internet, adjuntando el formato de Solicitud de Autorización para prestar Servicios de Telecomunicaciones con el respectivo proyecto técnico y económico.

CONSIDERANDO

Que de conformidad con los Artos. 5 y 7 de la Ley Orgánica de TELCOR y sus Reformas (Decreto No. 1053 del 5 de Junio de 1982); Arto. 12, Numeral 3.3 de su Reglamento, Decreto No. 128-2004, publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 238 del 7 de Diciembre del 2004; Arto. 99 de la Constitución Política de la República de Nicaragua; Artos. 1, 2, 10, 16, 24, 29 reformado por la Ley No. 336, Ley de Reforma a la Ley No. 200, 35, 62 y 64 de la Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales; Artos. 20, 22 y Arto. 34 del Reglamento del mismo cuerpo de Ley, reformado por el Decreto No. 131-2004, publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 2 del 4 de Enero del 2005; TELCOR, el Ente Regulador es el órgano competente para autorizar asignaciones de Licencias para operar y brindar servicios de telecomunicaciones y siendo que **YOTA DE NICARAGUA, S. A.**, cumplió con los requisitos técnicos, legales y económicos establecidos por la Ley,

RESUELVE:

I

Otorgar a la empresa **YOTA DE NICARAGUA, S. A.**, la Licencia No. **LIC-2010-AI-004** en carácter de asignación, para prestar el **Servicio de Acceso a Internet**, como un Servicio de Interés General, la que tendrá vigencia hasta el día 30 de Enero del 2020.


II


Es obligación ineludible del Operador someterse al cumplimiento de lo estipulado en el Contrato de Licencia por las partes contratantes, a la Ley No. 200; Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales, Reglamentos y normas técnicas que se dicten sobre la materia.

III

El Operador debe someterse fundamentalmente a las obligaciones contractuales siguientes, sin perjuicio de las obligaciones contenidas en la Ley No. 200, "Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales", su Reglamento, reglamentos específicos y demás normativas emitidas por TELCOR:

- a) De conformidad con el Arto. 34 del Reglamento de la Ley No. 200, deberá rendir garantía por un monto equivalente al cinco por ciento (5%) del promedio mensual de las proyecciones de ingresos brutos de operación. Estos valores en ningún caso deberán ser menores a C\$50.000.00. Esta garantía deberá ser emitida con validez mínima de doce meses, debiendo renovarse con al menos 15 días de anticipación a su vencimiento.
- b) El Operador no podrá vender, ceder, hipotecar o en manera alguna, gravar o transferir la licencia y los derechos en ella contenidos.
- c) El Operador se obliga a pagar a TELCOR los derechos y tasas que fijen las Leyes y Reglamentos respectivos, por el otorgamiento de su contrato de licencia y por el uso del Espectro Radioeléctrico.

 **PODER
CIUDADANO**
Nicaragua en el Alba
CRISTIANA SOCIALISTA SOLIDARIA!
Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, TELCOR
Avenida Bolívar, esquina diagonal al Edificio de la Cancillería. Aptdo. 2464
Managua, Nicaragua. Pbx: (505) 2222-7350 - Fax: (505) 2222-7444 - www.telcor.gob.ni





Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Paralelamente!

2010:
AÑO DE LA
SOLIDARIDAD
Viva Nicaragua Libre!

- d) El Operador en ningún caso podrá otorgar mandato general para litigios y cobranzas, actos de administración y de dominio con carácter irrevocable, a favor de sociedades que impliquen directa o indirectamente el desplazamiento de sus derechos y obligaciones establecidos en la licencia.
- e) El Operador se obliga a prestar el servicio, cumpliendo con los parámetros de calidad establecidos por TELCOR.
- f) El Operador se obliga a dar a TELCOR la información que requiera y permitir la revisión e inspección a sus instalaciones donde se presta el servicio.

IV

Notifíquese la presente Resolución al Operador a través de su Representante Legal. Archívese.



[Signature]
Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos
Orlando José Castillo Castillo
Presidente Ejecutivo

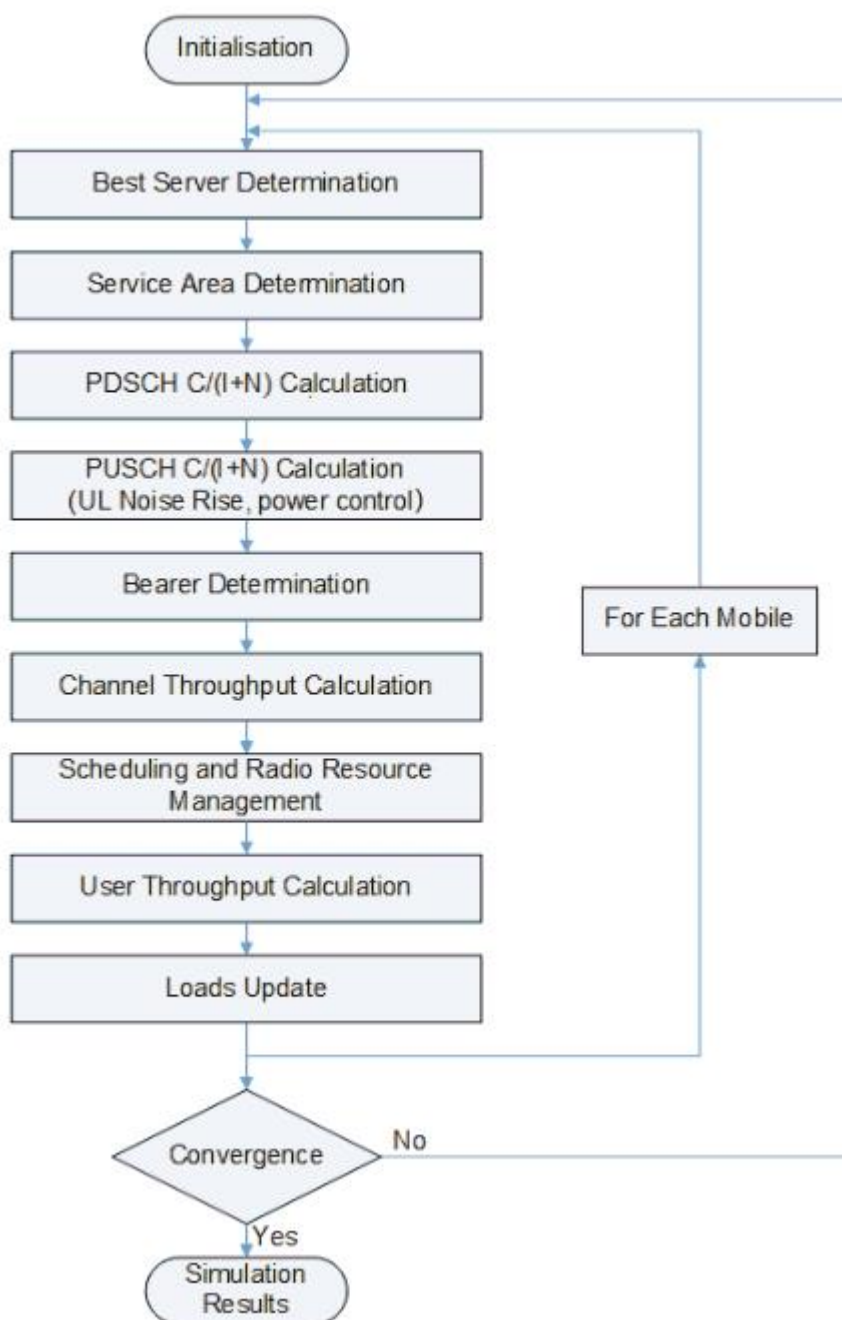


Nicaragua en el Alba
CRISTIANA SOCIALISTA SOLIDARIA

Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos, TELCOR
Avenida Bolívar, esquina diagonal al Edificio de la Cancillería, Aptdo. 2668
Managua, Nicaragua. ENX: (505)2222-7350 - FAX: (505)2222-7444 - www.telcor.gub.ni

[Signature]
m

Anexo C: Algoritmo empleado por Atoll™ para la simulación de MonteCarlo



Anexo D: Yota ICON

Yota Icon



Interfaz de Host:	USB2.0
Color :	Blanco, Rojo, Gris
Indicador de LED :	En la parte superior
Consumo de energía:	Extremadamente bajo
Estándar:	IEEE 802.16e Wave 2
Rango de frecuencia:	2.5~2.7 GHz
Conector USB:	Retráctil
Apariencia:	Fresca y Juvenil
Marca:	Samsung
Dimensiones:	70×27×14 mm
Peso:	25g
Compatibilidad:	Microsoft Windows XP (32bits), Vista, 7.



- **Anexo E: Samsung GT-B3730 LTE Dongle**

Samsung GT-B3730 4G Internet Stick Technical Specifications		
Model Number	Samsung GT-B3730	
Operator Model		
SIM Lock Status	Unlocked, SIM Card Free	
Form type	4G USB Internet Stick/LTE Surf stick	
Chipset/platform	Qualcomm MDM8200	
Category	LTE Category 3 (3GPP Release 8) Modem	
Network Bands		
4G/LTE Frequency Bands	GT-B3730: Band 7(FDD 2600MHz)	
3G UMTS/WCDMA/CDMA Bands	UMTS 2100MHz	
2G GPRS/GSM/EDGE	EDGE 900/1800MHz	
Data Rate Speed		
4G/LTE FDD link Speed	Downstream: 100Mbit/s	Upstream:50Mbit/s
4G/TD-LTE link Speed	Downstream: N/A	Upstream: N/A
3G HSDPA/HSUPA/HSPA+/DC-HSPA+ Link Speed	Downstream: 17Mbit/s	Upstream:5.76Mbit/s
Other Features		
MIMO Support	YES	
WiFi Support	NO	
Maximum Users Supported	1 Users	
SD Card Slot	n/a	
USB Type	USB2.0	
LAN Port	NO	
External Antenna Connector	2 (Connector Type: ??)	
Battery	Capacity: N/A	Working time:N/A
Dimensions	64 x 50 x11mm	
Weight	35g	
OS Supported	Windows XP/Vista/7/8,Linux, Ubuntu, Mac OS	
Supported Operators		
Alternative similar models	ZTE MF820D, HUAWEI E392	
File or Driver download		
Firmware download	Samsung GT-B3730 Driver/Firmware download	
User Manual	Samsung GT-B3730 user manual	
Specification Download	Samsung GT-B3730 Datasheet	
Optional Accessories	Samsung GT-B3730 External Antenna	

